

1100113

ILMU TEKNIK

LAPORAN PENELITIAN



PENERAPAN SATELLITE DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING (SDMB) PADA JARINGAN HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS (HSDPA)

Oleh:

**Ir. ERFAN ACHMAD DAHLAN, MT.
DWI FADILA KURNIAWAN, ST.,MT.
YOSINA SEPTIANINGSIH**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2009**



HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : PENERAPAN *SATELITTE*
MULTIMEDIA BROADCASTING PADA
JARINGAN HIGH SPEED DOWNLINK
PACKET ACCESS
2. Ketua Peneliti
a. Nama Lengkap : Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT.
b. Jenis Kelamin : Pria
c. NIP : 131 124 663
d. Jabatan Struktural : -
e. Jabatan : Lektor Kepala
Fungsional/Golongan
f. Fakultas/Jurusan : Teknik/Elektro
g. Pusat Penelitian : BPP FT UB
h. Alamat : Jl. MT Haryono 167 Malang 65145
i. Telpon/Faksimili : 0341-553632
j. E-mail
3. Anggota Pelaksana
a. Nama Anggota Pelaksana : DWI FADILAH ST.,MT
b. Mahasiswa Asisten Peneliti : YOSINA SEPTIANINSIH
4. Lokasi Penelitian : Wilayah Malang Raya
3. Jangka Waktu Penelitian : 6 bulan
4. Biaya Penelitian : Rp. 3.000.000,00 (tiga juta rupiah)
5. Sumber Dana : Mandiri

Mengetahui,
Ketua BPP Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya


Dr. Ir. Arief Rachmansyah
NIP. 132 059 302

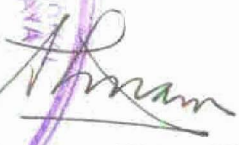
Malang, 7 Oktober 2008

Ketua Peneliti,


Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT.
NIP. 131 124 663

Menyetujui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya


Ir. Imam Zaky, M.T.
NIP. 130 604 494



IDENTITAS DAN URAIAN UMUM PENELITIAN

1. Judul Usulan:

PENERAPAN *SATELLITE DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING* (SDMB)
PADA JARINGAN *HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS* (HSDPA)

2. Ketua Peneliti

- a) Nama lengkap : Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT.
- b) Bidang keahlian : Telekomunikasi
- c) Jabatan Struktural : -
- d) Jabatan Fungsional/Golongan : Lector Kepala/IVa
- e) Unit kerja : Fakultas Teknik
- f) Alamat surat : Jl. MT. Haryono 167, Malang
- g) Telpon/Faks : 0341-554166
- h) E-mail : erfan_achmad@yahoo.com

3. Anggota Tim Peneliti

No;	Nama	Keahlian	Waktu
1	Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT.	Telekomunikasi	4 jam/minggu
	~ : ~ ~ ,	Telekomunikasi	4 jam/minggu

4. Objek penelitian

PENERAPAN *SATELLITE DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING* (SDMB)
PADA JARINGAN *HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS* (HSDPA)

5. Masa pelaksanaan penelitian:

- Mulai : 7 April 2008
- Berakhir : 7 Oktober 2008

6. Anggaran yang diusulkan: Rp. 3.000.000,-

7. Lokasi penelitian: Kota Malang

8. Hasil yang ditargetkan:

PENERAPAN *SATELLITE DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING* (SDMB)
PADA JARINGAN *HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS* (HSDPA)

9. Institusi lain yang terlibat: -

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, dengan memanjatkan kehadiran *Allah SWT* yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, akhirnya Laporan Penelitian tentang “Penerapan *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB) Pada Jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA)” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Maksud dilakukannya studi ini adalah untuk menguraikan tentang penerapan *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB) pada jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA).

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pemerintah Kotamadya dan Kabupaten Malang beserta seluruh jajaran pemerintah kecamatan di wilayah Malang Raya, yang telah banyak membantu dalam memberikan ijin, serta informasi dan data pendukung yang diperlukan dalam melaksanakan studi ini.

Akhirnya, kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung kelancaran pelaksanaan studi ini juga diucapkan terima kasih.

Kami menyadari bahwa Laporan Penelitian ini masih kurang sempurna, karena masih mengandung kekurangan dan kelemahan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun akan kami terima dengan senang hati.

Malang, Oktober 2008

Ketua Tim Peneliti

Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT.



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
IDENTITAS DAN URAIAN UMUM PENELITIAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
RINGKASAN.....	viii

BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II SATELLITE DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING (SDMB) ..	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Multimedia.....	5
2.2.1 Video.....	6
2.2.2 Audio.....	7
2.3 Komponen SDMB.....	8
2.3.1 Deskripsi Komponen Subsistem.....	8
2.3.1.1 SDMB <i>User Equipment</i>	8
2.3.1.2 Satelit SDMB.....	9
2.3.1.3 <i>Terrestrial Repeater</i>	9
2.3.1.4 SDMB <i>Hub</i>	9
2.4 Spesifikasi <i>Layer</i> Pada SDMB.....	10
2.4.1 <i>Layer</i> Kompresi.....	11
2.4.1.1 <i>Adaptive Multirate Wideband (AMR-WB)</i>	11
2.4.1.2 MPEG-2 AAC+.....	12
2.4.1.3 H.264/ AVC.....	12
2.4.2 <i>Layer</i> Multiplexing.....	13



2.4.2.1	MPEG-2 TS (<i>Transport Stream</i>) Multiplexing.....	13
2.4.3	Layer Pengkodean Kanal.....	16
2.4.3.1	Pengkodean Kanal Reed-Solomon (204, 188).....	16
2.4.3.2	Konvolusi <i>Interleaving</i> Forney.....	17
2.4.4	Layer Transmisi.....	18
2.5	Arsitektur Protokol SDMB.....	19
2.5.1	Protokol <i>User Plane</i>	19
2.5.2	Protokol <i>Control Plane</i>	21
2.6	Paket Data Aplikasi <i>Mobile TV</i>	22
2.6.1	<i>Delay end-to-end</i> Aplikasi <i>Mobile TV</i> Pada Sistem SDMB.....	22
2.6.2	Probabilitas <i>Packet Loss</i> Aplikasi <i>Mobile TV</i>	23

BAB III PENERAPAN SDMB PADA JARINGAN *HIGH SPEED DOWNLINK*

PACKET ACCESS (HSDPA)..... 25

3.1	Dm —	25
3.2	Konsep Dasar HSDPA.....	25
3.2.1	<i>Shared Channel Transmission</i>	26
3.2.1.1	<i>High Speed Downlink Shared Channel</i> (HS-DSCH).....	27
3.2.1.2	<i>High-Speed Shared Control Channels</i> (HS-SCCH).....	27
3.2.1.3	<i>High-Speed Dedicated Physical Channel</i> (HS-DPCCH).....	28
3.2.2	<i>Adaptive Modulation and Coding</i> (AMC).....	29
3.2.3	<i>Short Transmission Time Interval</i> (TTI).....	30
3.2.4	<i>Fast Link Adaption</i>	30
3.2.5	<i>Fast Scheduling</i>	31
3.2.6	<i>Fast Hybrid Automatic Repeat Request</i> (H-ARQ).....	31
3.3	Arsitektur Jaringan HSDPA-WCDMA.....	32
3.4	<i>Protocol Stack</i> HSDPA.....	35
3.5	Penerapan SDMB Pada Jaringan HSDPA.....	37
3.6	Analisis Performansi Jaringan.....	39



3.6.1	<i>Delay</i>	39
3.6.1.1	<i>Delay Proses</i>	40
3.6.1.2	<i>Delay Transmisi</i>	52
3.6.1.3	<i>Delay Propagasi</i>	56
3.6.1.4	<i>Delay Antrian</i>	57
3.6.2	Probabilitas <i>Packet Loss</i>	60
3.6.2.1	Probabilitas <i>Packet Loss</i> Pada <i>Node-Node</i> HSDPA.....	60
3.6.2.2	Probabilitas <i>Packet Loss</i> Pada <i>Air Interfaces</i>	61
3.6.3	<i>Throughput</i>	69

BAB IV METODOLOGI

4.1	Studi Pustaka.....	72
4.2	Pengambilan Data.....	72
4.2.1	Spesifikasi SDMB.....	72
4.2.2	Spesifikasi HSDPA.....	73
4.3	Perhitungan dan Analisis Data.....	73
4.4	Pengambilan Kesimpulan.....	73

BAB V ANALISIS PENERAPAN SATELLITE DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING (SDMB) PADA JARINGAN HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS (HSDPA).....

5.1	Paket Data Aplikasi <i>Mobile TV</i>	74
5.2	<i>Delay End-to-end</i> Penerapan SDMB Pada Jaringan HSDPA.....	75
5.2.1	<i>Delay</i> Penerapan Aplikasi <i>Mobile TV</i>	76
5.2.2	<i>Delay End-to-end</i> Jaringan HSDPA.....	76
5.2.2.1	<i>Delay Proses</i>	76
5.2.2.2	<i>Delay Transmisi</i>	88
5.2.2.3	<i>Delay Propagasi</i>	93
5.2.2.4	<i>Delay Antrian</i>	99
5.2.2.5	<i>Delay Total</i>	103
5.3	Probabilitas <i>Packet Loss</i>	106
5.3.1	Probabilitas <i>Packet Loss</i> Aplikasi <i>Mobile TV</i>	106



5.3.2	Probabilitas <i>Packet Loss</i> Pada <i>Node-Node</i> HSDPA.....	107
5.3.3	Probabilitas <i>Packet Loss</i> <i>Air Interfaces</i>	107
5.3.4	Probabilitas <i>Packet Loss</i> Total.....	113
5.4	<i>Throughput</i>	115
BAB VI PENUTUP.....		121
6.1	Kesimpulan.....	121
6.2	Saran.....	122
DAFTAR PUSTAKA		123



Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT., Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT., Yosina Septianingsih. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2008, Penerapan *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB) Pada Jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA)

Kebutuhan akan informasi dan hiburan semakin berkembang seiring dengan kemajuan teknologi telekomunikasi. Sistem *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB) muncul sebagai salah satu alternatif yang paling menjanjikan untuk menghantarkan layanan multimedia seperti *mobile TV* menuju pelanggan karena SDMB memanfaatkan keunggulan satelit yaitu kemampuan untuk menyediakan layanan *broadcast* dengan cakupan global. Selain itu SDMB memiliki kelebihan dalam hal pemilihan jalur transmisi, baik melalui *direct link* maupun *indirect link* sesuai kondisi geografis lokasi pengguna. Dengan mengintegrasikan SDMB dengan jaringan berbasis paket data yang ada saat ini yaitu *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) maka pengguna dapat mengakses layanan multimedia berkecepatan tinggi di mana saja dan kapan saja.

Dengan menggunakan data sekunder yang didapatkan dari berbagai buku referensi, jurnal, *thesis*, dan *download* dari internet, pada skripsi ini dilakukan analisis performansi penerapan SDMB pada jaringan HSDPA yang meliputi parameter *delay end-to-end*, probabilitas *packet loss*, serta *throughput*. Analisis dilakukan pada panjang paket data yang berbeda dan mempertimbangkan jalur *direct link* maupun *indirect link*.

Dari hasil analisis didapatkan hasil bahwa nilai *delay end-to-end* untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA memenuhi standar toleransi *delay* yang direkomendasikan untuk aplikasi *real time* yaitu kurang dari 450 ms. Selain itu, *delay end-to-end* yang terjadi pada jalur *direct link* lebih besar daripada *indirect link* karena adanya perbedaan kecepatan transmisi data pada jalur satelit-UE (*direct*) dan satelit-IMR (*indirect*). Probabilitas *packet loss* untuk jalur *direct link* lebih besar daripada *indirect link* karena nilai E_b/N_0 pada *direct link* lebih kecil daripada E_b/N_0 *indirect link*. Probabilitas *packet loss* terbesar terjadi pada paket data 354 byte melalui *direct link* yaitu sebesar $9,444 \cdot 10^{-2}$. Sedangkan probabilitas *packet loss* terkecil adalah $5,222 \cdot 10^{-2}$ untuk paket data 309 byte dan 320 byte pada *indirect link*. Nilai *throughput* terbesar terjadi pada paket data 354 byte *indirect link* dengan faktor utilisasi 0,1 yaitu 183,424 kbps, sedangkan *throughput* terkecil terjadi pada paket data 320 byte *direct link* dengan faktor utilisasi 0,9 yaitu 95,418 kbps.

Kata kunci: SDMB, HSDPA, *mobile TV*, *direct link*, *indirect link*, *delay end-to-end*, probabilitas *packet loss*, *throughput*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan akan informasi dan hiburan semakin berkembang seiring dengan kemajuan teknologi telekomunikasi. Pengguna jasa telekomunikasi semakin dimudahkan dalam hal akses multimedia untuk mendapatkan informasi maupun hiburan melalui jaringan publik seperti internet. Permasalahan yang kemudian timbul adalah saat pengguna membutuhkan akses yang tidak bergantung lokasi dan mendukung mobilitas. Sistem transmisi radio digital yang telah ada sebelumnya yaitu *Digital Video Broadcasting-Handheld* (DVB-H) memiliki kelemahan dalam hal jangkauan pentransmisian karena hanya menggunakan pemancar bumi.

Untuk mengatasi jangkauan pentransmisian dan sekaligus tetap mengakomodasi mobilitas pengguna, saat ini beberapa negara mulai memanfaatkan satelit. Penggunaan satelit sebagai media untuk menghadirkan layanan multimedia dikenal sebagai *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB). SDMB merupakan bagian dari teknologi 3G yang dipergunakan untuk *broadcasting* layanan *Multimedia Broadcast and Multicast Service* (MBMS). Sesuai dengan standar yang dirumuskan dalam *Mobile Digital Broadcasting Satellite* (MODIS), aplikasi yang ditangani SDMB adalah *mobile TV*. SDMB dengan *spotbeam* satelit dapat menjangkau daerah-daerah terpencil, bahkan yang belum memiliki infrastruktur telekomunikasi. Dengan menggunakan SDMB, perangkat penerima pada sisi pengguna dapat menerima sinyal langsung dari satelit maupun dari *terrestrial repeater*. SDMB sangat sesuai untuk diterapkan di Indonesia yang wilayahnya terdiri atas pulau-pulau karena SDMB menyediakan cakupan global.

Layanan SDMB bisa dimaksimalkan seiring dengan kemajuan teknologi telekomunikasi bergerak. SDMB dapat diintegrasikan dengan jaringan telekomunikasi bergerak yang mampu menangani paket data seperti jaringan *General Packet Radio Service* (GPRS), *Enhanced Data Rates for Global Evolution* (EDGE), maupun dengan teknologi generasi ketiga seperti *Wideband Code Divison Multiple*

Access (WCDMA). Sampai saat ini teknologi telekomunikasi generasi ketiga masih terus berkembang dengan pesat untuk memperbaiki performansi sistem yang telah ada. Salah satunya adalah penerapan teknologi *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) yang mampu menghadirkan kecepatan transmisi *downlink* hingga 14,4 Mbps. Dengan mengintegrasikan layanan SDMB dan teknologi HSDPA, maka pengguna dapat mengakses layanan multimedia berkecepatan transmisi tinggi di mana saja dan kapan saja. Selain itu pengguna juga dimudahkan dalam hal pemilihan jaringan sesuai dengan kondisi geografis, baik melalui satelit maupun melalui *terrestrial link*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah, antara lain:

1. Bagaimana megintegrasikan SDMB dengan jaringan HSDPA?
2. Bagaimana analisis *delay* yang terjadi?
3. Bagaimana analisis probabilitas *packet loss* pada sistem?
4. Bagaimana analisis *throughput* pada sistem?

1.3 Ruang Lingkup

Untuk memenuhi sasaran yang telah dijabarkan dalam rumusan masalah, maka diberikan ruang lingkup pembahasan sebagai berikut:

1. Dasar jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) yang digunakan adalah jaringan *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA).
2. Jenis aplikasi SDMB yang dianalisis adalah *mobile TV*.
3. Protokol yang digunakan adalah TCP/IP untuk pengiriman paket data *mobile TV* dan IP yang digunakan adalah IPv6.
4. Analisis parameter performansi dilakukan pada satu sel *spotbeam* satelit tanpa terjadi proses *handover*.

5. Analisis meliputi *direct link* (dari satelit langsung ke *user equipment*) dan *indirect link* (melalui *terrestrial repeater*).
6. Jumlah pengguna yang direncanakan adalah sesuai dengan kapasitas sebuah sel HSDPA untuk paket data 384 kbps yaitu 180 pengguna.

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah menerapkan serta menganalisis performansi *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB) pada jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA).

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I **Pendahuluan**

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II ***Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB)**

Membahas konsep dasar multimedia, SDMB, spesifikasi SDMB, *layer* pada SDMB, dan arsitektur protokol SDMB.

BAB III **Penerapan SDMB pada Jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA)**

Membahas konsep HSDPA, karakteristik HSDPA yang meliputi *shared channel* transmisi HSDPA, *fast link adaptation*, AMC, *packet scheduling*, Fast HARQ, dan TTI, serta penerapan *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB) pada jaringan HSDPA.

BAB IV **Metodologi**

Membahas tentang metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini.

BAB V **Analisis Penerapan SDMB pada Jaringan HSDPA**

Membahas tentang analisis penerapan SDMB pada jaringan HSDPA yang meliputi *delay end-to-end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput*.

BAB VI

Penutup

Memuat tentang semua kesimpulan dari semua hal yang telah diuraikan sebelumnya, serta saran-saran yang dapat diberikan untuk pengembangan skripsi selanjutnya.



BAB II

SATELLITE DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING (SDMB)

2.1 Umum

Perkembangan terbaru dalam bidang layanan penyiaran multimedia digital telah menawarkan sebuah *platform* bagi operator jaringan untuk menyediakan layanan multimedia. Beberapa proyek rintisan seperti *Multimedia Broadcast and Multicast Service* (MBMS), *Digital Video Broadcasting Handheld* (DVB-H), dan *Terrestrial/ Satellite-Digital Multimedia Broadcasting* (T/S-DMB) telah dipersiapkan untuk mendistribusikan konten multimedia kepada *mobile user*. *Multimedia Broadcast and Multicast Service* (MBMS) yang dikembangkan oleh *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) menyediakan baik model *multicast* maupun *broadcast* untuk jaringan komunikasi bergerak 3G. Sistem SDMB muncul sebagai salah satu alternatif yang paling menjanjikan untuk menghantarkan layanan MBMS menuju pelanggan. SDMB menggunakan salah satu keunggulan satelit yaitu kemampuan untuk menyediakan layanan *broadcast* dengan cakupan global.

Pada prinsipnya sistem SDMB memanfaatkan satelit GEO (*Geostationary Orbit*) untuk menjangkau daerah *urban* dan *suburban* dengan bantuan *terrestrial repeaters*. Dengan menggunakan sistem SDMB, pengguna dapat mengakses layanan multimedia tanpa bergantung pada lokasi karena pengguna dapat menerima sinyal langsung dari satelit maupun dari *terrestrial repeaters*. Pada sistem SDMB, satelit bekerja sebagai pemancar ulang dari *program providers* ke perangkat penerima. Untuk daerah padat penduduk dengan bangunan-bangunan yang menghalangi penetrasi sinyal satelit, diperlukan *terrestrial repeater* agar daya jangkauan satelit menjadi optimal.

2.2 Multimedia

Multimedia adalah kombinasi dari dua atau lebih jenis informasi. Jenis informasi itu antara lain suara, teks, grafik, *image*, dan video. Aplikasi multimedia membutuhkan *bandwidth* yang besar. Agar aplikasi multimedia dapat ditransmisikan

pada sistem transmisi yang mempunyai kecepatan transmisi yang terbatas maka diperlukan kompresi pada data multimedia tersebut.

2.2.1 Video

Penanganan video berdasarkan pada prinsip visi mata manusia yaitu tidak dapat membedakan perubahan yang sangat cepat pada suatu pemandangan. Dengan memanfaatkan prinsip tersebut maka dimungkinkan untuk mengirimkan urutan gambar yang disebut *frame* pada kecepatan tertentu sehingga mata manusia tidak akan dapat melihat diskontinuitas pada gerakan *frame* tersebut. Prinsip yang sama digunakan pada proyeksi bioskop yang menampilkan 24 *frame* dan setiap *frame* ditampilkan dua kali sehingga tercapai kecepatan 48 *frame* per detik untuk menghadirkan kontinuitas gerakan saat ditangkap mata manusia.

Video digital dibentuk melalui proses *sampling* audio dan video analog. ITU (*International Telecommunications Union*) telah menetapkan spesifikasi standar kualitas *video broadcast* di bawah rekomendasi ITU-R BT601. *Sampling rate* minimal yang ditetapkan oleh standar ITU untuk video adalah empat kali dari frekuensi *subcarrier* warna. Secara garis besar tipe sinyal video dibagi menjadi tiga yaitu :

- *National Television Standards Committee* (NTSC) untuk USA,
- *Phase Alternation Line* (PAL) untuk UK,
- *Sequential Couleur a Memoire* (SECAM) untuk Perancis.

Sinyal video menggunakan tiga warna dasar yaitu *Red*, *Green* dan *Blue*. Komponen analog sinyal video terdiri dari *Y* (*luminance*), serta sinyal warna *U* (mewakili *B-Y*) dan *V* (mewakili *R-Y*). Komponen tersebut sebenarnya mencakup tiga kanal paralel (*Y*, *U*, dan *V*) dan ketiga kanal tersebut masing-masing perlu di-*sampling* dan ditransmisikan. Pada umumnya pengkodean dilakukan terhadap setiap komponen video, sehingga sinyal *Y*, *U* dan *V* harus di-*sampling* secara individual. Karena mata manusia menangkap detail warna tidak setajam saat menangkap *luminance*, maka *bandwidth* sinyal warna harus lebih rendah daripada *luminance*. Demikian pula dengan *bit rate* pada proses *sampling*, komponen *U* dan *V* dikodekan dengan *bit rate* setengah dari *bit rate* komponen *luminance*.

2.2.2 Audio

Format audio memiliki *range* yang bergantung pada dikompresi atau tidaknya *file* audio tersebut serta standar kompresi yang digunakan. Sedangkan standar audio yang digunakan bergantung pada jenis aplikasi. Aplikasi musik memerlukan standar audio yang berbeda seperti Dolby atau DTS, sementara audio pada *mobile handset* menggunakan pengkodean audio MPEG-4 dengan level yang lebih tinggi seperti *Advanced Audio Coding* (AAC).

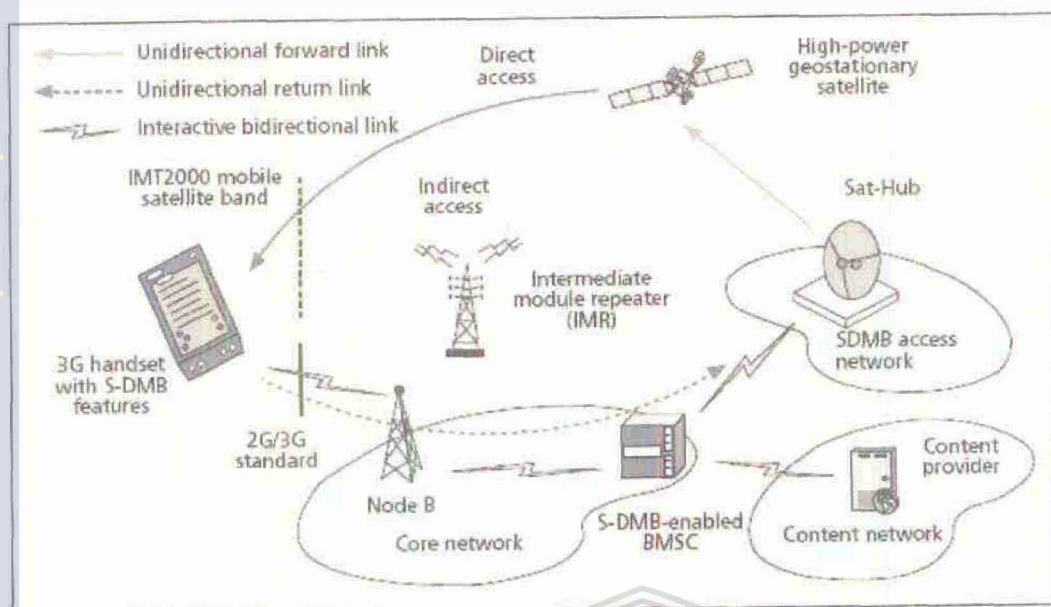
Rentang frekuensi suara yang dapat didengar oleh telinga manusia adalah antara 20 Hz sampai dengan 20 kHz. Untuk menangani rentang frekuensi tersebut secara digital, audio harus di-*sampling* setidaknya dua kali frekuensi tertinggi. *Sampling rate* yang sering digunakan adalah:

- Audio CD, 44,1 kHz dengan 16 bit per *sample* per *channel* (1,411Mbps untuk stereo);
- DAT (*digital audio tapes*), 48 kHz dengan 16 bit per *sample*;
- DVD, 48–192 kHz dengan 16–24 bit per *sample*.

Proses *sampling* dan *coding* akan membangkitkan *Pulse Code-Modulated* (PCM) audio. Audio dapat berasal dari bermacam-macam sumber, masing-masing dengan *bandwidth* yang berbeda. Penentuan *bit rate* pada proses *sampling* bergantung pada tipe sinyal dan kualitas yang diinginkan.

2.3 Komponen SDMB

Pada Gambar 2.1 berikut ditampilkan konsep dasar SDMB. Komponen-komponen dasar SDMB antara lain adalah *content provider* yaitu penyedia konten multimedia, SDMB enabled BM-SC (*Broadcast and Multicast Service Centre*) yang bertugas untuk melakukan otorisasi dan otentifikasi konten multimedia dari *content provider*, *hub* satelit, satelit, *terrestrial repeaters*, serta terminal pengguna.



Gambar 2.1 Konsep SDMB

Sumber: Du, Hongfei, et al 2007: 95

2.3.1 Deskripsi Komponen Sub-sistem

Komponen sub-sistem SDMB dideskripsikan dalam *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*.

2.3.1.1 SDMB user equipment

Terdapat tiga tipe arsitektur terminal yaitu:

1. Tipe 1
Terminal tipe 1 mengintegrasikan terminal *handheld* yang mendukung SDMB dengan penyimpanan memori lokal dan *platform* eksekusi aplikasi (misalnya Java J2ME).
2. Tipe 2
Tipe 2 merupakan suatu perangkat penerima sinyal SDMB yang dilengkapi dengan penyimpanan memori. Perangkat tersebut dikoneksikan dengan terminal *handset* melalui antarmuka kabel atau nirkabel jarak pendek.
3. Tipe 3

Terminal tipe 3 merupakan terminal SDMB yang berdiri sendiri. Terminal tersebut diinstalasikan di dalam kendaraan dan tidak dapat digunakan secara terpisah di luar kendaraan.

2.3.1.2 Satelit SDMB

Satelit SDMB berupa satelit GEO dan reflektor yang besar (diameter sekitar 12 meter) seperti yang telah digunakan dalam Mobile Satellite System (MSS). Spesifikasi satelit GEO sebagai berikut (EU IST project MoDis consortium, 2004:24 dan Amitabh Kumar, 2007: 258):

- Feeder uplink: 13,824-13,883 GHz
- Layanan downlink ke terrestrial repeaters: 12,214-12,239 GHz – pita frekuensi Ku-Band.
- Layanan downlink ke user equipment: 2,630-2,655 GHz – pita frekuensi S-band

2.3.1.3 Terrestrial Repeater

Terrestrial repeater berfungsi sebagai Intermediate Module Repeater (IMR), berfungsi untuk meningkatkan sinyal di daerah urban, khususnya untuk lingkungan indoor. Terrestrial repeaters dapat diletakkan pada base station 3G yang telah ada untuk menghemat biaya instalasi. Pada terrestrial repeaters terjadi proses bertahap dimulai dari menerima sinyal pada pita frekuensi Ku-band, memodulasi, mendekodekan, memproses, mengkodekan, modulasi HSDPA, kemudian menguatkan sinyal pada pita frekuensi S-band.

2.3.1.4 SDMB Hub

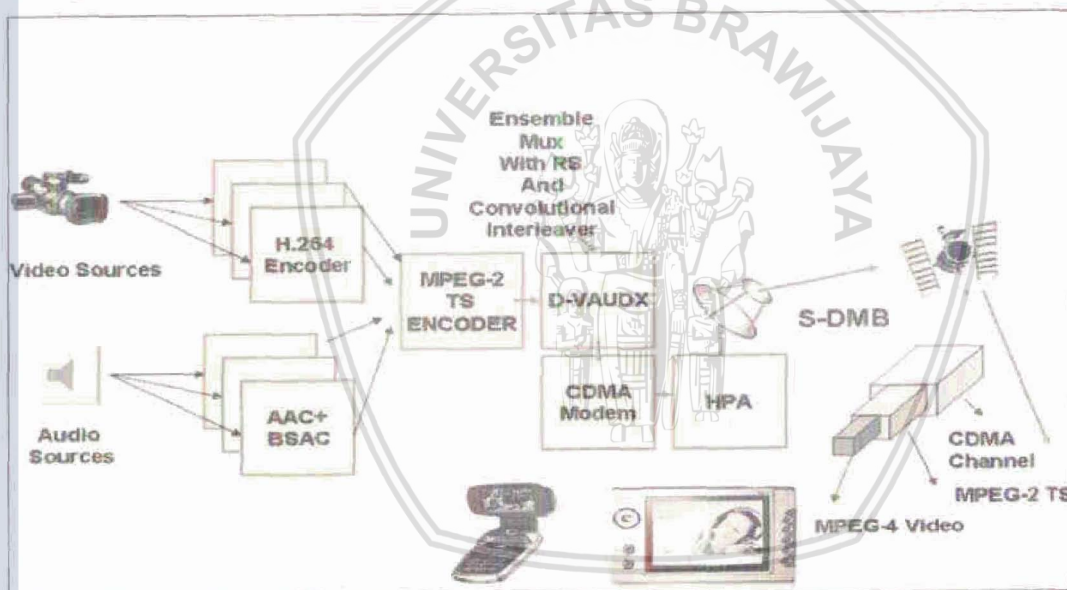
SDMB hub bertugas mengontrol transmisi broadcast dan memiliki kapasitas untuk SDMB. SDMB hub bertanggungjawab menangani transmisi sinyal SDMB menuju satelit. Setiap spotbeam satelit membutuhkan sebuah SDMB hub. Suatu SDMB hub setidaknya harus terdiri dari:

- a. Sebuah SDMB support node (SSN)
- b. Sebuah Radio Network Controller (RNC) berstandar 3GPP
- c. Satu atau beberapa UTRA FDD (UMTS Terrestrial Radio Access Network Frequency Division Duplex) Node B berstandar 3GPP

- d. Sebuah *Hub to Intermediate Module Repeater Transmitter* (HTI Tx)
- e. Sebuah RF (*Radio Frequency*) *front end* dan subsistem antenna
- f. Sebuah peralatan untuk referensi waktu dan frekuensi

2.4 Spesifikasi Layer Pada SDMB

Proses transmisi layanan *mobile TV* pada sistem SDMB menyatukan sejumlah sumber video, yang dapat dikodekan dengan MPEG-4 atau H.264, dan sumber audio, yang dikodekan dalam bentuk pengkodean AAC+ (*Advanced Audio Coding*). Keluaran video dan audio yang telah dikodekan selanjutnya diletakkan dalam *framework* MPEG-2 TS (*Transport Stream*) sebagai multiplekser. MPEG-2 TS selanjutnya ditempatkan dalam unit yang dinamakan D-VAUDX. Aliran sinyal tersebut kemudian dimodulasi dan ditransmisikan. Proses transmisi tersebut ditampilkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses Transmisi Video dan Audio pada Sistem SDMB

Sumber: Amitabh Kumar, 2007:259

Sesuai standar yang ditetapkan oleh ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), sistem SDMB memiliki spesifikasi *layer* sebagai berikut:

1. *Layer* kompresi



- Video: H.264/ MPEG-4 *part 10 AVC profile* pada Level 1.3
 - Audio: MPEG-2 AAC+
2. *Layer* multiplexing
 - MPEG-4 SL
 - MPEG-2 TS
 3. *Layer* pengkodean kanal
 - Pengkodean Reed-Solomon (204, 188)
 - Konvolusi *interleaving*
 4. *Layer* transmisi
 - DAB (Eureka 147)

2.4.1 *Layer* Kompresi

Pada *layer* kompresi terjadi pemrosesan suatu sinyal (video maupun audio) dan pengkonversian sinyal tersebut ke dalam format tertentu untuk dikirimkan. Pada aplikasi multimedia baik itu untuk audio, video, maupun data besarnya *bandwidth* tergantung dari CODEC (*coder/ decoder*) yang digunakan. Teknik pengkodean yang digunakan untuk aplikasi *mobile* TV dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Audio dan Video CODEC Pada Aplikasi *Mobile* TV

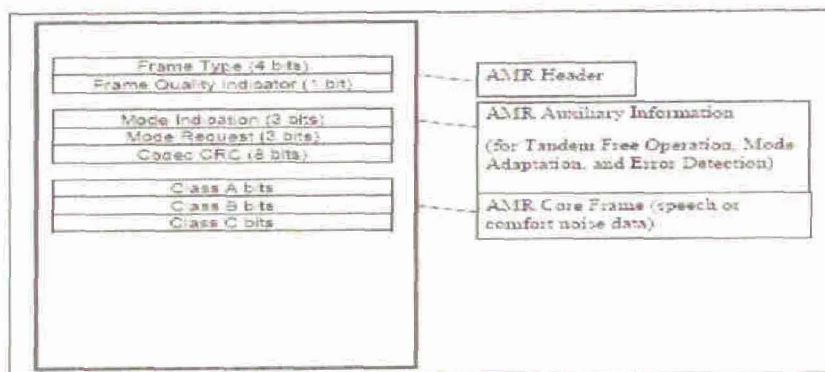
Audio CODEC	Bit Rate (kbps)	Maximum Payload (byte)	Delay CODEC (ms)
AMR-WB	6,6-23,85	35	10-20
AMR-WB+	5,2-48	46	20-40
HE-AAC v2	128-320	80	40-80
Video CODEC	Bit Rate (kbps)	Maximum Payload (byte)	Delay CODEC (ms)
H.264/AVC	64-384	254	150-300

Sumber: RFC 4352 and RFC 3984 RTP *Payload* Format for H.264 Video, 2005

2.4.1.1 *Adaptive Multirate Wideband* (AMR-WB)

Setiap model pengkodean AMR mengikuti struktur *frame* umum AMR seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.3. *Frame* tersebut terdiri dari tiga bagian yaitu

AMR Header, AMR Auxiliary Information, dan AMR Core Frame. AMR header meliputi informasi tipe frame dan Frame Quality Indicator. AMR auxiliary information terdiri atas Mode Indication, Mode Request, dan Codec CRC fields. Sedangkan AMR Core Frame meliputi bit parameter comfort noise.



Gambar 2.3 Struktur Frame Umum AMR

Sumber: ETSI TS 126 101 V3.0.0, 1999: 6

2.4.1.2 MPEG-2 AAC+

Format audio frame pada MPEG-2 AAC+ ditampilkan pada Gambar 2.4. Frame tersebut terdiri atas empat komponen dasar yaitu:

- 32 bit header
- 16 bit CRC (paritas)
- Data audio dengan panjang data bervariasi
- Ancillary Data (AD) dengan panjang data bervariasi

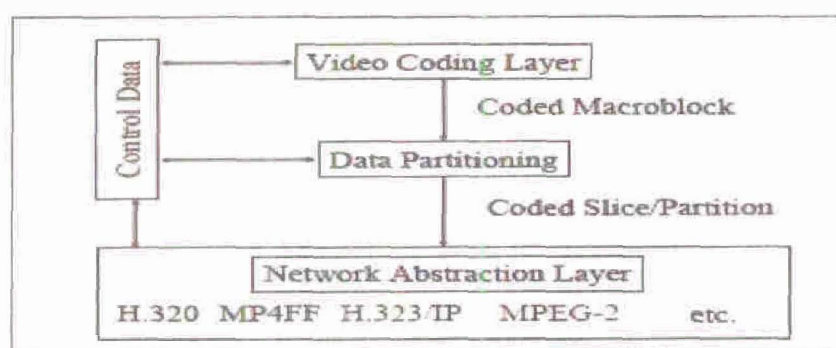
Header	CRC	AUDIO data				AD
System 32 bits	Parity 16 bits	Allocation bits/SBS	Selection SCFSI	Scaling factors	Sub-band samples (SBS) (three portions of 12 sub-band samples each)	Ancillary data

Gambar 2.4 Format Audio Frame MPEG-2 AAC+

Sumber: Hervé Benoit, 2008: 84

2.4.1.3 H.264/ AVC

Struktur enkoder video H.264/ AVC ditampilkan dalam Gambar 2.5,



Gambar 2.5 Struktur Enkoder Video H.264/ AVC

Sumber: DVB Bluebook A084: 23

Komponen yang menyusun H.264/AVC meliputi *Video Coding Layer* (VCL), yang dirancang untuk merepresentasikan konten video, serta *Network Abstraction Layer* (NAL), yang memformat representasi video dari VCL dan menyediakan informasi *header* sesuai dengan *transport layer* atau media penyimpanan yang digunakan.

2.4.3 Layer Multiplexing

2.4.2.1 MPEG-2 TS (Transport Stream) Multiplexing

Enkoder audio dan video menghasilkan *Elementary Streams* (ES) sebagai keluarannya yang merupakan unsur pokok dari *layer* kompresi. Setiap ES membawa *Access Units* (AU) yang dikodekan sebagai representasi dari *Presentation Units* (PU), yaitu *frame* audio dan video yang telah didekodekan. *Bitstream* tersebut, seperti halnya *bitstream* lain yang membawa data pribadi, harus disuplemen dengan informasi tambahan sehingga dimungkinkan pemisahan berdasarkan dekoder, sinkronisasi gambar dan suara, dan seleksi oleh pengguna.

ISO/IEC 11172 *International Standard Part 1* (MPEG-1) mendefinisikan aturan untuk *system layer* yaitu pengelompokan video, audio dan data pribadi ES ke dalam satu *bitstream* tunggal. Fungsi dasar *system layer* yang melakukan paketisasi *layer* kompresi antara lain adalah:

- Melakukan paketisasi dan mengkombinasi sejumlah *stream* menjadi satu *bitstream* tunggal.



- Menambahkan *time stamp* pada ES untuk sinkronisasi pada saat pemutaran ulang.
- Menginisialisasi dan mengatur penyangga yang diperlukan untuk mendekodekan ES.

Setiap ES dibagi menjadi paket-paket untuk membentuk *Packetized Elementary Stream* (PES) yaitu paket yang dimulai dengan *packet header* dan diikuti oleh data *elementary stream*. Struktur *header* pada PES MPEG-2 ditampilkan dalam Tabel 2.2.

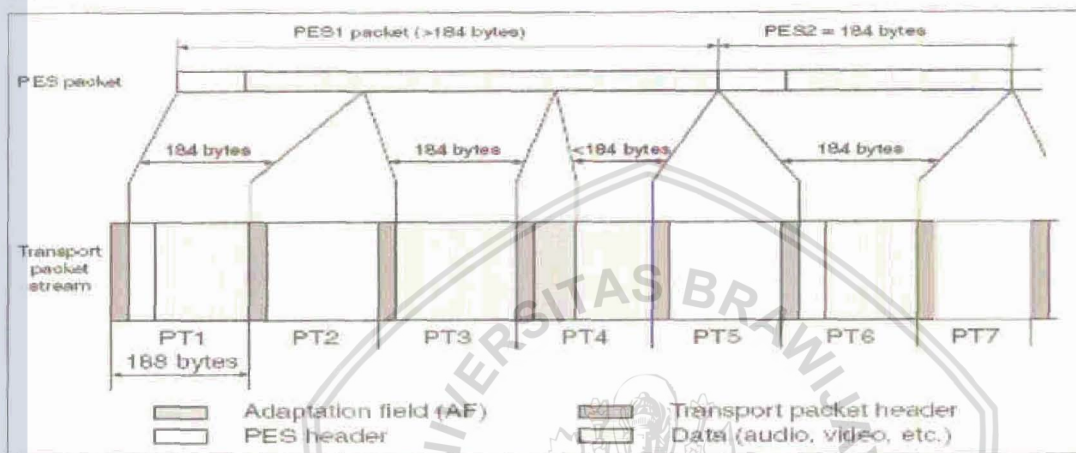
Tabel 2.2 Struktur Header PES MPEG-2

Field	Definisi	Jmlh bit
Start_code_prefix	Start code (00 00 01 hex)	24
Stream_id	Identifikasi PES	8
Packet_length	Panjang paket (dalam byte)	16
PES_scrambling_control	Mengindikasi bila PES dalam keadaan teracak dan mengontrol jumlah kata	2
Flags	Variabel <i>flags</i>	14
PES_header_length	Panjang bagian PES yang tersisa ($x + y$)	8
PES_header_subfields	Variabel <i>field</i> , tergantung <i>flags</i>	x bytes
Stuffing	Opsional <i>stuffing</i>	y bytes

Sumber: Hervé Benoit, 2008: 81

MPEG-2 TS (*Transport Stream*) terutama digunakan untuk transpor program TV melalui jarak yang jauh menggunakan media transmisi atau pada lingkungan yang rentan mengalami *error* (BER lebih tinggi dari 10^{-4}). Media semacam itu didefinisikan sebagai *error-prone*. Dalam kasus tersebut panjang paket harus relatif pendek agar algoritma koreksi yang efisien dapat diterapkan. Oleh karena itu, panjang *transport packet* MPEG-2 ditetapkan sepanjang 188 byte untuk transmisi program TV melalui satelit, kabel, atau *terrestrial transmitters*. Tipe *stream* tersebut dapat mengkombinasikan banyak program dalam *multipleks* yang sama tanpa harus berbagi

STC (*System Time Clock*) bersama. Namun PES yang berbeda yang membentuk suatu program tertentu harus menggunakan *clock* yang sama sehingga dekoder dapat melakukan sinkronisasi pada PES tersebut. Gambar 2.6 menampilkan proses organisasi PES yang membentuk MPEG-2 TS. Dalam hal ini terdapat dua paket PES. Paket PES1 memiliki panjang lebih dari 184 byte, sedangkan PES2 memiliki panjang 184 byte. PES1 selanjutnya dibagi-bagi menjadi *transport packet* PT1, PT3 dan PT4. PES2 yang memiliki panjang tepat 184 byte dibentuk menjadi PT6 tanpa memerlukan segmentasi.



Gambar 2.6 Organisasi PES yang Membentuk MPEG-2 *Transport Stream*

Sumber: Hervé Benoit, 2008: 83

Transport packet 188 byte dibentuk dari 4 byte *header* dan *payload* sampai dengan 184 byte, yang didahului oleh *adaption field* opsional. Dalam konteks ini *payload* berarti data dari PES yang membentuk program TV. Pada PES tersebut telah ditambahkan sejumlah data yang memungkinkan dekoder untuk menemukan jalannya dalam MPEG-2 *transport stream*.

Standar ISO/IEC 13818-1 menentukan bahwa sebuah *transport packet* hanya boleh membawa data dari satu paket PES. Panjang *transport packet* (188 byte termasuk 4 byte *header*) jauh lebih pendek daripada paket PES, oleh karena itu paket PES perlu dibagi menjadi blok-blok data dengan panjang masing-masing 184 byte. Saat paket PES bukan merupakan kelipatan 184 byte, maka *transport packet* terakhir yang membawa paket PES harus diawali dengan *adaption field* yang panjangnya

adalah 184 byte dikurangi dengan sisa byte dari paket PES terakhir. Struktur *header transport packet* MPEG-2 dengan panjang total 4 byte ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Struktur *Header Transport Stream* MPEG-2

Field	Definisi	Jmlh bit
Sync_byte	Bit sinkronisasi (10000111 = 47hex)	8
EI	Transport_error_indicator (mengindikasikan error dari tingkat sebelumnya)	1
PUSI	Payload_unit_start_indicator (indikator awal PES dalam paket)	1
TPR	Transport_priority (indikator prioritas)	1
PID	Packet identifier (mengidentifikasi muatan paket)	13
SCR_flags	Transport_scrambling_flags (tipe pengacakan transpor)	2
AF	Adaptation_field_flag (keberadaan <i>adaptation field</i> dalam paket)	1
PF	Payload_flag (keberadaan data <i>payload</i> dalam paket)	1
CC	Continuity_counter (antara porsi PES yang terpotong)	4

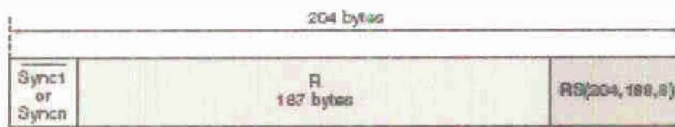
Sumber: Hervé Benoit, 2008: 85

2.4.3 Layer Pengkodean Kanal

2.4.3.1 Pengkodean Kanal Reed-Solomon (204, 188)

Untuk mengoreksi *error* yang terjadi pada kanal transmisi fisik, dibutuhkan bentuk pengkodean yang memungkinkan deteksi dan koreksi *error* transmisi sehingga dapat menghasilkan kanal QEF (*Quasi-Error-Free*), yaitu media dengan nilai *bit error rate* (BER) $<10^{-10}$. Pengkodean Reed Solomon yang digunakan pada sistem SDMB untuk *layer* pengkodean kanal merupakan versi terpendek dari kode RS yaitu yang biasa dinotasikan sebagai RS' (204, 188, T=8). Kode ini, dikombinasikan dengan konvolusi *interleaving* Forney, dapat mengoreksi *burst error* pada kanal transmisi. Pengkodean RS (204, 188, T=8) menambahkan 16 byte paritas setelah byte informasi pada *transport packet*, sehingga panjangnya menjadi 204 byte. Selain itu, RS (204,188, T=8) dapat mengoreksi sampai dengan 8 byte *error* per

paket. Bila terdapat lebih dari 8 byte *error* dalam satu paket maka paket tersebut akan diindikasikan sebagai paket yang salah dan tidak dapat dikoreksi, kemudian rangkaian selanjutnya yang menentukan perlakuan apa yang harus diterapkan terhadap paket yang *error* tersebut. Gambar 2.7 mengilustrasikan format *transport packet* setelah dikodekan dengan pengkodean Reed Solomon.

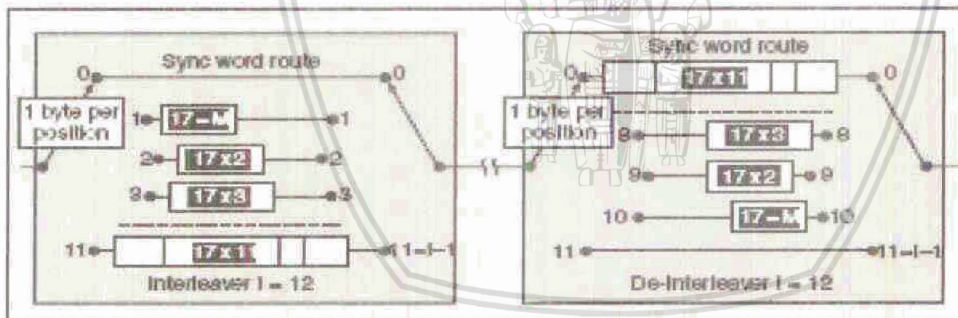


Gambar 2.7 Transport Packet dengan Pengkodean Reed Solomon

Sumber: Hervé Benoit, 2008:109

2.4.3.2 Konvolusi *Interleaving* Forney

Tujuan tahap ini adalah untuk meningkatkan efisiensi pengkodean Reed-Solomon dengan cara menyebarkan *burst error* pada kanal melalui waktu yang lebih lama sehingga dapat melampaui kecepatan pengoreksian pengkodean RS (8 byte per paket). Proses ini dikenal sebagai konvolusi *interleaving* Forney seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Proses Konvolusi *Interleaving* Forney

Sumber: prETS 300 421. © ETSI 1995 dari Hervé Benoit, 2008:109

L merupakan panjang paket yang perlu diproteksi (204 byte) dan I merupakan jumlah cabang divais *interleaving* dan *de-interleaving* (dalam hal ini sebanyak 12), yang disebut *interleaving depth*. Sehingga $I=12$ dan $L=204$. Divais *interleaving* pada

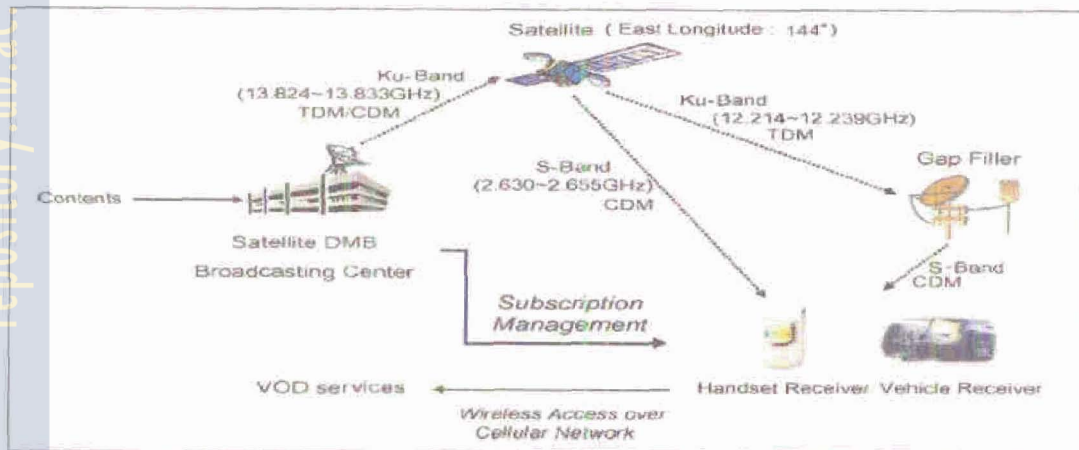
transmitter terdiri atas *switched bank* dari 12 FIFO (dengan indeks $j=0-11$) dengan panjang $M \times j$ (dengan $M=L/I=204/12=17$). Sedangkan pada divais *de-interleaving* pada receiver terdiri atas jumlah *switched bank* yang sama tetapi dengan panjang FIFO $M \times (11-j)$. Sehingga 12 byte dengan indeks $j=0-11$ berturut-turut akan melewati cabang indeks yang berkorespondensi dan setiap byte akan mengalami penundaan sebelum ditransmisikan, tergantung pada indeksnya yaitu 0, 17, 34, sampai dengan 187 posisi. Hal ini disebabkan karena satu posisi sama dengan satu byte periode.

Pada penerima terjadi proses yang sama dan byte yang mengalami penundaan sebanyak $j \times 17$ posisi pada pentransmisian akan mengalami penundaan sebanyak $(11-j) \times 17$ sehingga penundaan yang dialami oleh setiap byte sama. *Burst error* yang mempengaruhi byte yang melintas berturut-turut akan disebar oleh *de-inteleaver* melalui dua paket berturut-turut sehingga dapat memperbaiki efisiensi pengkodean RS. Byte sinkronisasi selalu mengikuti cabang dengan indeks $j=0$.

2.4.4 Layer Transmisi

Arsitektur sistem SDMB diilustrasikan dalam Gambar 2.9. Terdapat dua jalur sinyal menuju terminal pengguna. Jalur yang pertama adalah penerimaan langsung dari satelit dan yang kedua adalah jalur relay melalui *terrestrial repeaters*. Stasiun *uplink* SDMB yaitu SDMB hub mentransmisikan sinyal *Code Division Multiplexing* (CDM) dan *Time Division Multiplexing* (TDM) menuju satelit. Sinyal *downlink* yang langsung menuju terminal pengguna merupakan sinyal dalam format CDM. Sedangkan jalur sinyal relay yang menuju *terrestrial repeater* memiliki format TDM, yang kemudian akan diubah menjadi bentuk CDM karena harus ditransmisikan ulang menuju terminal pengguna.





Gambar 2.9 Arsitektur Transmisi SDMB

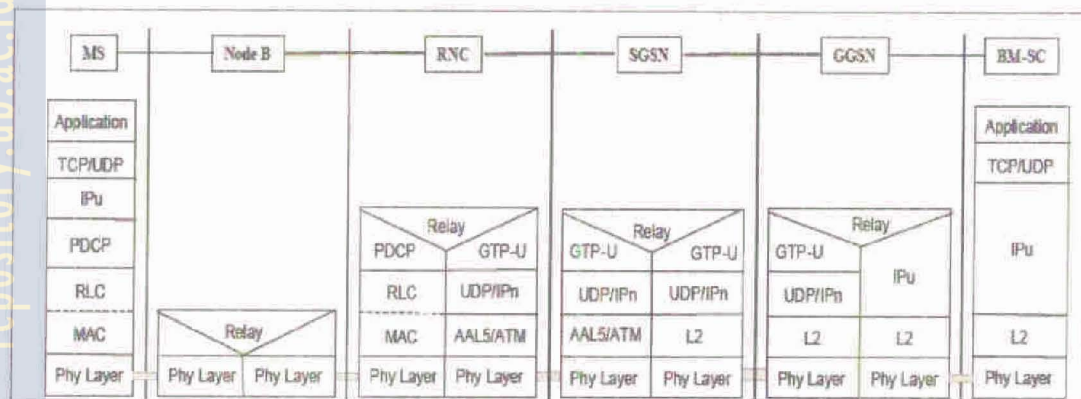
Sumber: Sang-Jin Lee, et al, 2007;180

Pada umumnya sinyal program televisi dikirimkan dalam format *Standard Definition Television* (SDTV). Namun format SDTV tidak sesuai dengan *mobile broadcasting* karena *bandwidth* kanal yang terbatas, sehingga sinyal video dikonversi ke dalam resolusi *frame* 320 x 240 (QVGA) dengan *frame rate* 15 fps dan sinyal audio dikodekan dengan *sampling rate* 48 kHz. Video, audio dan konten data lainnya membentuk *payload* untuk memodulasi sinyal *carrier* dalam format CDM-QPSK. Data kontrol yang dimodulasi dalam format CDM-BPSK ditransmisikan melalui kanal pilot. Kanal pilot terdiri atas simbol pilot untuk estimasi kanal, *unique word* untuk sinkronisasi *frame* dan *frame counter* untuk sinkronisasi *super frame* pada penerima. Simbol pilot dimasukkan setiap 250 μ s.

2.5 Arsitektur Protokol SDMB

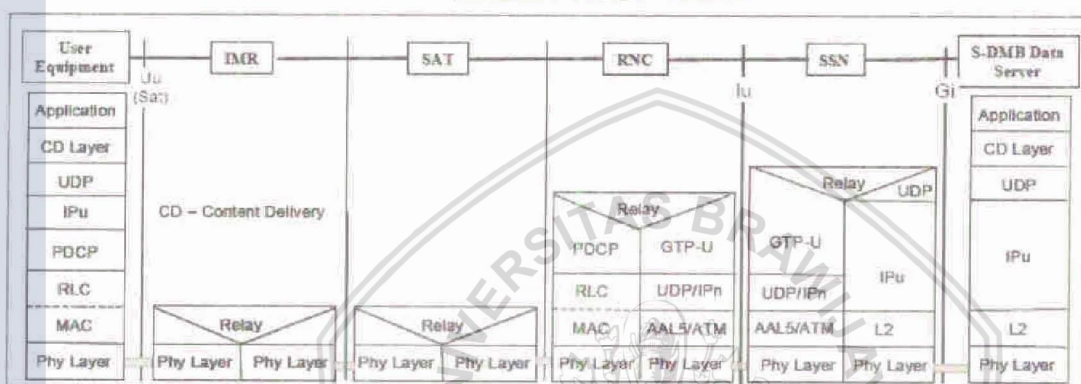
2.5.1 Protokol User Plane

Arsitektur protokol *user plane* SDMB untuk *terrestrial part* diilustrasikan dalam Gambar 2.10, sedangkan untuk *satellite part* dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.10 Arsitektur Protokol *User Plane* untuk *Terrestrial Part*

Sumber: <http://www-ist-modis.org>



Gambar 2.11 Arsitektur Protokol *User Plane* untuk *Satellite Part*

Sumber: <http://www-ist-modis.org>

Berikut adalah lapisan-lapisan protokol *user plane* pada sistem SDMB:

- **GPRS Tunnelling Protocol for the user plane (GTP-U)**

Protokol ini menghubungkan data pengguna antara jaringan akses radio dan *Serving GPRS Support Node* (SGSN).

- **UDP/IP**

Merupakan protokol jaringan *backbone* yang digunakan untuk merutekan data pengguna dan mengontrol pensinyalan.

- **Asynchronous Transfer Mode (ATM)**

Informasi yang akan ditransmisikan dibagi menjadi sel berukuran tetap yaitu 53 oktet, dimultipleks dan ditransmisikan.

- **ATM Adaptation Layer 5 (AAL5)**

Lapisan ini menyediakan kemampuan untuk mendukung layanan data *variable bit rate* baik untuk tipe *connection-oriented* maupun *connectionless*.

- **Packet Data Convergence Protocol (PDCP)**

Fungsi transmisi ini adalah untuk memetakan karakteristik level yang lebih tinggi kepada protokol antarmuka radio yang lebih dasar. PDCP menyediakan transparansi protokol untuk lapisan protokol yang lebih tinggi.

- **Radio Link Control (RLC)**

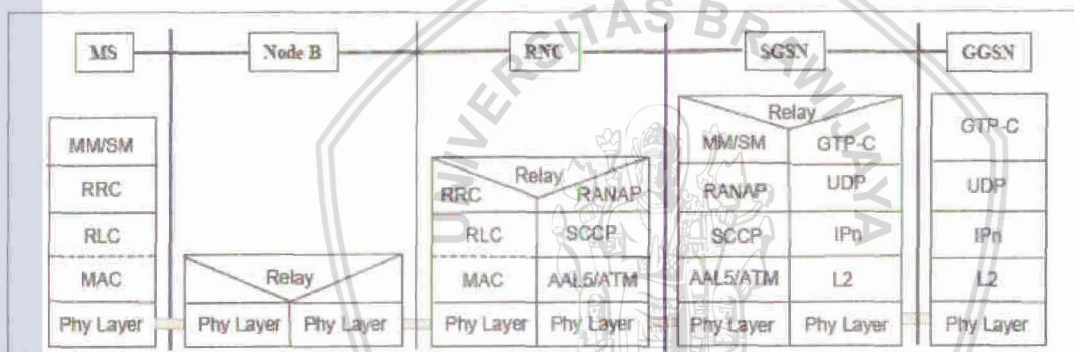
RLC menyediakan kontrol *logical link* pada antarmuka radio.

- **Medium Access Control (MAC)**

Protokol MAC mengontrol prosedur pensinyalan akses untuk kanal radio.

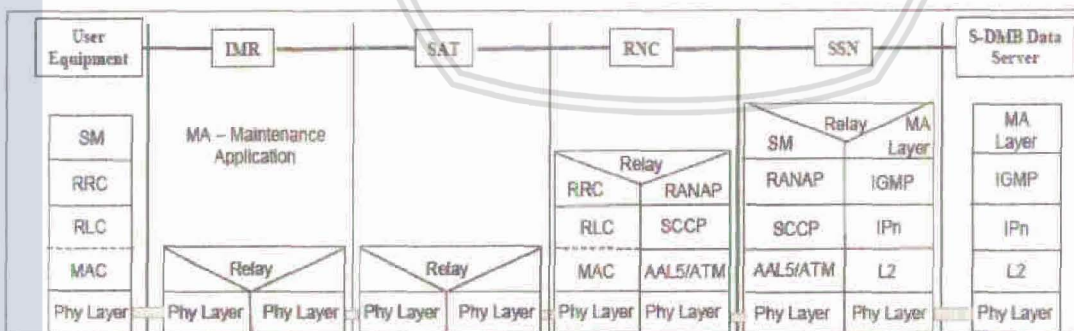
2.5.2 Protokol Control Plane

Arsitektur protokol *control plane* SDMB untuk *terrestrial part* dan *satellite part* diilustrasikan dalam Gambar 2.12 dan Gambar 2.13.



Gambar 2.12 Arsitektur Protokol Control Plane untuk Terrestrial Part

Sumber: <http://www-ist-modis.org>



Gambar 2.13 Arsitektur Protokol Control Plane untuk Satellite Part

Sumber: <http://www-ist-modis.org>

- **Radio Access Network Application Protocol (RANAP)**

Protokol ini mengenkapsulasi dan membawa pensinyalan dari level yang lebih tinggi, menangani pensinyalan antara SGSN dan Iu, dan mengatur koneksi GTP pada antarmuka Iu.

- **GPRS Tunnelling Protocol for the control plane (GTP-C)**

Protokol ini menjadi penghubung pesan pensinyalan antara SGSN dengan GGSN (Gn) dan antara SGSN dengan jaringan backbone (Gp).

- **Signalling Connection Control Part (SCCP)**

Merupakan bagian dari protokol pensinyalan SS7 untuk menyediakan kemampuan menangani berbagai pensinyalan berorientasi aplikasi.

- **Radio Resource Control (RRC)**

RRC menangani sumber radio pada sistem dan mengontrol unit protokol yang lebih rendah (PDCP, RLC, MAC dan lapisan fisik).

2.6 Paket Data Aplikasi Mobile TV

Besarnya paket data aplikasi mobile TV pada sistem SDMB merupakan penjumlahan dari *payload mobile TV* dan *header-header* sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{mob(BMSC)} = PL + Header_{TS} + Header_{RS} \quad (2.1)$$

dengan:

$W_{mob(BMSC)}$ = Paket data mobile TV pada BMSC (byte)

PL = Payload data aplikasi mobile TV (byte)

$Header_{TS}$ = Header Transport Stream (4 byte)

$Header_{RS}$ = Header Reed Solomon (16 byte)

2.6.1 Delay end-to-end Aplikasi Mobile TV Pada Sistem SDMB

Delay end-to-end aplikasi mobile TV pada sistem SDMB merupakan jumlah delay CODEC aplikasi mobile TV dengan delay jaringan tempat aplikasi itu berjalan.

Delay CODEC aplikasi mobile TV terdiri dari delay CODEC audio dan video.

Besarnya delay CODEC aplikasi mobile TV ini dapat dihitung dengan:

$$(2.2) \quad t_{CODEC} = t_a + t_v$$

dengan:

$$t_{CODEC} = \text{Delay CODEC aplikasi mobile TV (detik)}$$

$$t_a = \text{Delay CODEC audio (detik)}$$

$$t_v = \text{Delay CODEC video (detik)}$$

Besarnya delay end-to-end aplikasi mobile TV adalah:

$$(2.3) \quad t_{end-to-end} = t_{CODEC} + t_{net}$$

dengan:

$$t_{end-to-end} = \text{Delay end-to-end (detik)}$$

$$t_{CODEC} = \text{Delay CODEC aplikasi mobile TV (detik)}$$

$$t_{net} = \text{Delay jaringan (detik)}$$

2.6.2 Probabilitas Packet Loss Aplikasi Mobile TV

Probabilitas packet loss total aplikasi mobile TV pada suatu jaringan ditentukan berdasarkan pada probabilitas packet loss pada jaringan tersebut serta probabilitas packet loss aplikasi mobile TV seperti pada persamaan:

$$(2.4) \quad p_{tot} = 1 - [(1 - p_{network})(1 - p_{mobileTV})]$$

dengan:

$$p_{tot} = \text{Probabilitas packet loss total/end-to-end}$$

$$p_{network} = \text{Probabilitas packet loss jaringan}$$

$$p_{mobileTV} = \text{Probabilitas packet loss aplikasi mobile TV}$$

Packet loss yang terjadi pada aplikasi mobile TV dapat dihitung dengan

persamaan di bawah ini:

$$(2.5) \quad p_{mobileTV} = W_{mob} \cdot p_b$$

dengan:

$\rho_{mobile\ TV}$ = Probabilitas *packet loss* aplikasi *mobile TV*

W_{mob} = Paket data *mobile TV* (bit)

ρ_b = *Bit Error Rate* (BER) (10^{-8})



BAB III

PENERAPAN SDMB PADA JARINGAN *HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS (HSDPA)*

3.1 Umum

Layanan berbasis IP dan layanan nirkabel merupakan dua jenis layanan yang paling menarik bagi pengguna jasa telekomunikasi saat ini. Layanan dasar jaringan telekomunikasi bergerak seperti *Short Message Service* (SMS) dan panggilan telepon tidak dapat lagi memuaskan pengguna. Para pengguna saat ini lebih membutuhkan layanan multimedia yang lebih menarik seperti video, *chat*, *mobile TV*, akses internet berkecepatan tinggi, dan lain-lain. Namun karena terbatasnya kapasitas dan *Quality of Service* (QoS), layanan data 2G/ 2.5G seperti GPRS dan CDMA 1x tidak dapat memenuhi persyaratan untuk menyediakan layanan *mobile* multimedia. Dengan pengembangan teknologi telekomunikasi sampai dengan 3G dan 3.5G maka layanan multimedia dapat dipenuhi dengan lebih baik.

High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) merupakan sebuah konsep yang termasuk dalam spesifikasi *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) Release 5. Penerapan HSDPA pada jaringan WCDMA merupakan sebuah evolusi teknologi yaitu dari teknologi 3G menjadi 3.5G, yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan performansi *downlink* jaringan WCDMA. Tujuan utama HSDPA adalah untuk meningkatkan *data rate* dan QoS, dan secara umum meningkatkan efisiensi spektral untuk layanan paket data *downlink*.

3.2 Konsep Dasar HSDPA

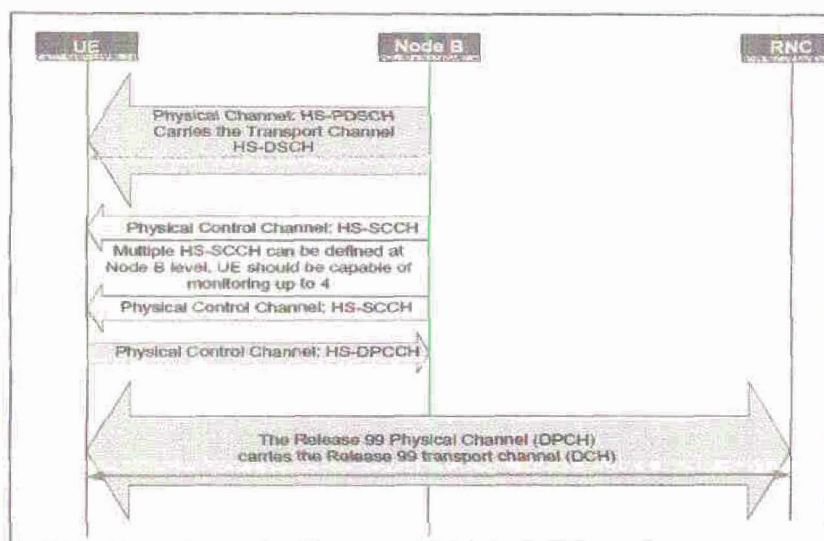
HSDPA merupakan pengembangan dari *air interface* pada jaringan WCDMA. HSDPA bertujuan meningkatkan performansi jaringan WCDMA untuk mengatasi peningkatan *user* dan perkembangan komunikasi data yang mengarah pada komunikasi multimedia. Konsep HSDPA didasarkan pada beberapa karakteristiknya antara lain:

- *Shared channel transmission*
- *Adaptive Modulation and Coding (AMC)*
- *Short Transmission Time Interval (TTI)*
- *Fast link adaptation*
- *Fast scheduling*
- *Fast Hybrid Automatic Repeat Request (H-ARQ)*

3.2.1 *Shared Channel Transmission*

Beberapa kanal baru diperkenalkan untuk operasi HSDPA. Data *payload* dibawa melalui sebuah kanal transpor yaitu *High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)* yang beroperasi pada TTI (*Transmission Time Interval*) tetap sebesar 2 ms. Pada *layer* fisik, HS-DSCH dipetakan ke dalam *High Speed Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH)*. Kanal yang dapat menangani transmisi multi kode tersebut digunakan secara bersama-sama oleh pengguna dengan menerapkan kombinasi *Time Division Multiplexing (TDM)* dan *Code Division Multiplexing (CDM)*. Informasi kontrol dan *scheduling* yang berhubungan dengan tiap transmisi HS-PDSCH dikomunikasikan dengan *user equipment (UE)* melalui satu atau beberapa *High-Speed Shared Control Channels (HS-SCCH)*. Selama TTI 2 ms, sebuah HS-SCCH membawa informasi kontrol untuk satu UE. Oleh karena itu, jumlah kanal HS-SCCH yang diperlukan ditentukan oleh banyaknya UE yang akan melakukan transmisi HS-PDSCH bersamaan. Pada arah *uplink*, Release 5 memperkenalkan kanal *layer* fisik baru yang disebut *High-Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH)*. Setiap UE yang beroperasi pada mode HSDPA memiliki sebuah HS-DPCCH yang membawa *positive acknowledgement (ACK)* atau *negative acknowledgement (NAK)* dari data transmisi HS-DSCH dan juga laporan CQI (*Channel Quality Indicator*) yang memberi informasi kepada *scheduler* Node B mengenai kualitas kanal. Pemetaan kanal transpor dan fisik pada HSDPA diilustrasikan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Pemetaan Kanal Pada HSDPA

Sumber: Kevin P. Murray dan Sunil Patil, 2006: 261

3.2.1.1 High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)

HS-DSCH merupakan kanal transpor yang membawa data pengguna pada HSDPA. Pada *layer* fisik HS-DSCH dipetakan pada *High-Speed Physical Downlink Shared Channel* (HS-PDSCH).

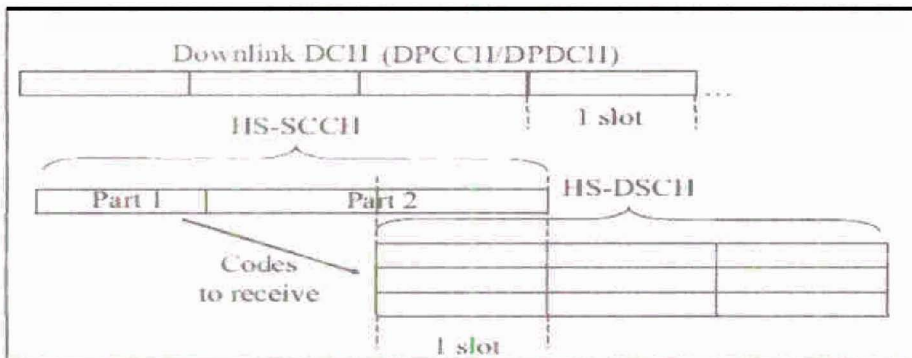
Karakteristik penting HS-DSCH adalah sifat dinamis yang memungkinkan *resource sharing* dengan alokasi periode 2 ms. Saat terdapat data untuk pengguna yang dialokasikan pada HS-PDSCH, data-data tersebut akan dikirimkan terus menerus selama periode TTI 2 ms.

3.2.1.2 High-Speed Shared Control Channels (HS-SCCH)

HS-SCCH memiliki dua slot untuk mengimbangi HS-DSCH, seperti yang ditampilkan dalam Gambar 3.2. HS-SCCH memiliki *spreading factor* sebesar 128 sehingga terdapat 40 bit per slot yang dibawa (dengan modulasi QPSK). Tidak terdapatnya bit pilot maupun kontrol daya membuat referensi fasa HS-SCCH selalu sama dengan HS-DSCH. HS-SCCH dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- Bagian pertama membawa informasi yang dibutuhkan untuk proses *de-spreading* kode yang benar dan juga membawa informasi modulasi.

- Bagian kedua terdiri dari informasi yang tidak terlalu mendesak, seperti proses ARQ mana yang tengah ditransmisikan. Selain itu bagian kedua juga mengindikasikan apakah suatu transmisi paket benar-benar baru atau terkait dengan transmisi paket sebelumnya.



Gambar 3.2 Pewaktuan antara HS-SCCH dan HS-DSCH

Sumber: Harri Holma dan Antti Toskala, 2006: 41

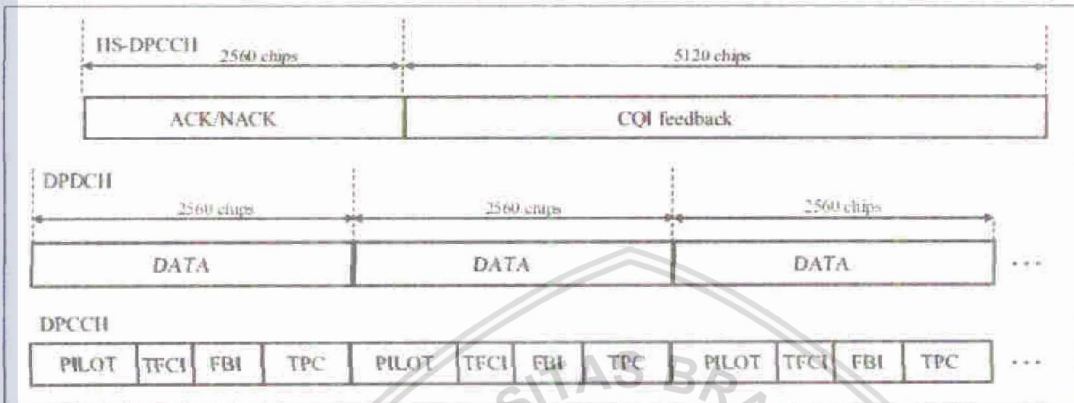
Sebuah *sub frame* HS-SCCH berisi informasi sebagai berikut:

- Kanalisasi-kode-set informasi (7 bit)
- Informasi skema modulasi (1 bit)
- Informasi ukuran blok transport (6 bit)
- Informasi proses H-ARQ (3 bit)
- *Redudancy* dan versi *constellation* (3 bit)
- Indikator data baru (1 bit)
- Identitas UE (16 bit)

3.2.1.3 High-Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH)

Operasi HSDPA memerlukan informasi umpan balik *layer* fisik *uplink* dari terminal menuju *base station* untuk memungkinkan proses adaptasi *link* dan retransmisi *layer* fisik. Informasi umpan balik *uplink* tersebut dibawa oleh HS-DPCCH. Umpan balik *Hybrid Automatic Repeat Request* (HARQ) menginformasikan kepada *base station* apakah paket telah dikodekan dengan benar atau tidak. Sedangkan *Channel Quality Information* (CQI) memberitahukan *data rate* yang bisa diterima terminal kepada *base station scheduler*. HS-DPCCH menggunakan

spreading factor tetap yaitu sebesar 256 dan memiliki struktur 2 ms/ tiga slot, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 3.3. Slot pertama dipergunakan untuk informasi HARQ. Sedangkan kedua slot yang tersisa digunakan untuk CQI. Informasi HARQ selalu dikirimkan saat ada HS-SCCH yang telah dikodekan dengan benar diterima pada arah *downlink*. CQI didasarkan pada *Common Pilot Channel* (CPICH) dan digunakan untuk perkiraan ukuran blok transport, tipe modulasi dan jumlah kanal kode yang mendukung keandalan level transmisi *downlink*.



Gambar 3.3 Struktur HS-DPCCH

Sumber: Harri Holma dan Antti Toskala, 2006: 44

3.2.2 Adaptive Modulation and Coding (AMC)

Pada Release 5 untuk HS-PSCH, AMC menggantikan posisi kontrol daya. Tujuan utama AMC adalah untuk mengatasi ketidakstabilan kanal radio dengan jalan mengatur parameter transmisi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan pengukuran kanal radio yang diekstraksi oleh terminal *mobile*, dalam kasus HSDPA dengan cara memanfaatkan *Channel Quality Indication* (CQI) dan prosedur retransmisi. Karena diperlengkap dengan informasi-informasi tersebut serta informasi yang berkaitan dengan trafik, AMC memungkinkan jaringan untuk memilih metode pengkodean dan modulasi yang paling sesuai. AMC juga memungkinkan seleksi modulasi untuk dikombinasikan dengan proses pengkodean kanal, yang sering disebut sebagai *Transport Format and Resource Combination* (TRFC). Sehingga berdasarkan pengukuran kanal, kombinasi terbaik dari multi kode, *channel rate* dan

modulasi dapat dipilih untuk menghasilkan *throughput* maksimal untuk kondisi kanal tertentu.

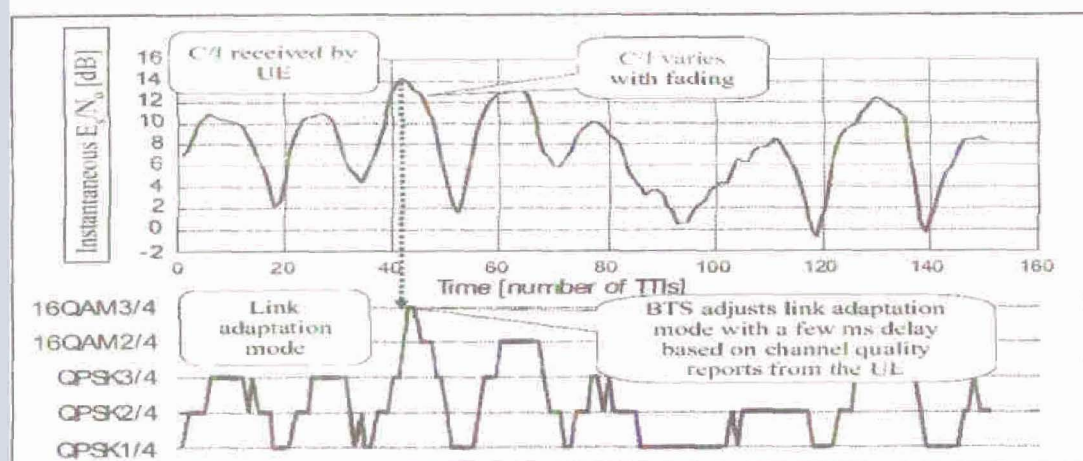
Sehubungan dengan modulasi, *Release 5* memperbolehkan HSDPA, secara spesifik HS-DSCH, untuk menggunakan baik 16-*Quadrature Amplitude Modulation* (16QAM) maupun *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK). QPSK telah didefinisikan secara spesifik dalam *Release 4*, sedangkan 16QAM didefinisikan dalam *Release 5* untuk operasi HSDPA. Metode modulasi orde tinggi seperti 16QAM menyediakan efisiensi spektral yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan QPSK. 16QAM melipatgandakan *data rate* dibandingkan dengan QPSK dengan cara merepresentasikan empat bit informasi per simbol modulasi. Namun aplikasi 16 QAM memiliki kelemahan yaitu hanya dapat diterapkan pada daerah dengan kondisi RF yang baik karena metode modulasi 16QAM memerlukan informasi magnitudo dan fasa yang akurat untuk menentukan posisi simbol dalam keluaran konstelasi secara tepat.

3.2.3 Short Transmission Time Interval (TTI)

HSDPA menerapkan TTI sebesar 2 ms untuk sebuah *sub-frame* HS-DSCH yang terdiri dari tiga buah slot. Sebuah UE dapat menggunakan semua kode kanalisasi sepanjang TTI atau beberapa UE menduduki TTI yang sama dengan alokasi kode kanal yang berbeda. TTI dapat mengurangi waktu *roundtrip* dan memperbaiki proses pelacakan pada kanal radio yang berbasis *time-varying*.

3.2.4 Fast Link Adaptation

Adaptasi *link* pada HSDPA berdasarkan pada *layer* fisik CQI yang disediakan oleh terminal. Pengguna yang relatif lebih dekat dengan *base station* mentransmisikan level daya yang lebih tinggi daripada yang dibutuhkan. Adaptasi *link* mengatasi ekstra margin tersebut dengan menyeleksi parameter transmisi sehingga energi simbol yang dibutuhkan sesuai dengan daya simbol yang tersedia. Adaptasi *link* dilakukan berdasarkan informasi CQI yang juga mempertimbangkan aspek lain selain kekuatan sinyal atau C/I. Adaptasi *link* sebagai fungsi *Carrier to Interference* (C/I) diilustrasikan dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Link Adaptation

Sumber: Harri Holma dan Antti Toskala, 2006: 47

3.2.5 Fast Scheduling

Fitur *fast-scheduling* menentukan UE tertentu dalam transmisi kanal bersama yang harus diarahkan pada waktu tertentu. Tujuannya adalah untuk mentransmisikan sinyal pada pengguna dengan kondisi radio yang terbaik. Untuk setiap TTI, *scheduler* menentukan kepada pengguna mana HS-DSCH harus ditransmisikan serta menentukan modulasi dan banyaknya kode yang harus digunakan dengan menggunakan mekanisme *link adaptation*. Release 5 mendefinisikan *sub-layer* MAC (*Medium Access Control*) yang disebut MAC-hs pada Node B untuk *packet scheduling*.

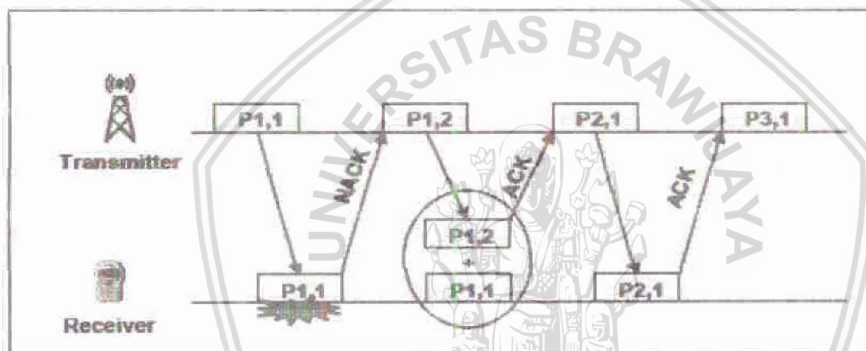
3.2.6 Fast Hybrid Automatic Repeat Request (H-ARQ)

Dengan menggunakan HARQ maka *Network Element* (NE) dapat mendeteksi *error* dan meminta retransmisi bila diperlukan. Teknik retransmisi memastikan data paket diterima tanpa *error*. Bila dibandingkan dengan ARQ (*Automatic Repeat Request*) konvensional, nilai tambah HARQ terletak pada kemampuannya untuk mengombinasikan estimasi permulaan baik dari transmisi asal maupun retransmisi yang berhubungan dengan proses adaptasi *link*.

HARQ menggabungkan metode FEC (*Forward Error Correction*) dengan ARQ yang menyimpan informasi data sebelumnya untuk dikirimkan kembali pada saat terjadi kesalahan atau kegagalan dalam pengiriman. Teknik HARQ digunakan



untuk retransmisi data yang diterapkan pada *layer* fisik (Node B). Retransmisi dapat dilayani langsung oleh Node B tanpa adanya keterlibatan dari RNC, sehingga diharapkan akan mengurangi *latency* dan meningkatkan utilitas kanal. HARQ yang digunakan dalam HSDPA memanfaatkan prosedur *stop and wait*. Dengan *stop and wait*, *transmitter* mengirimkan satu blok TTI (3 slot) dan menunggu sampai *acknowledgement* (ACK) atau *negative acknowledgement* (NAK) diterima dari UE. Untuk memanfaatkan waktu selama menunggu *acknowledgement*, proses *stop and wait*-HARQ sebanyak N paralel diset untuk UE sehingga beberapa proses yang berbeda dapat ditransmisikan dalam blok TTI yang berbeda. Bila UE meminta retransmisi untuk data *error* yang diterima sebelumnya, maka saat menerima transmisi yang kedua UE mengombinasikan informasi dari transmisi sebelumnya dengan transmisi yang kedua sebelum mendekodekannya. Proses HARQ pada HSDPA ditampilkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Proses HARQ Pada HSDPA

Sumber: Alexander Wang, 2004: 9

3.3. Arsitektur Jaringan HSDPA-WCDMA

Penerapan HSDPA pada jaringan WCDMA mengakibatkan perubahan pada UTRAN (UMTS *Terrestrial Radio Access Network*) yang meliputi *Radio Network Controller* (RNC), Node B, *Iub interface* dan UE (*User Equipment*). Arsitektur jaringan WCDMA yang menerapkan HSDPA ditampilkan dalam Gambar 3.6.



1. *Home Location Register (HLR)*
Merupakan perangkat *database* yang diletakkan dalam sistem pengguna yang menyimpan *copy master* dari profil layanan pengguna.
2. *Visitor Location Register (VLR)*
Befungsi sebagai *register pengunjung* yang menyimpan data semua *mobile terminal (MT)* yang saat itu sedang berada di wilayah administratif sebuah MSC. VLR dapat dianggap sebagai data dinamik yang secara intensif bertukar data dengan HLR. Kapan pun MSC membutuhkan data yang berhubungan dengan MT yang saat itu sedang berada di daerah layanannya, MSC akan menginterogasi VLR.
3. *Equipment Identity Register (EIR)*
Befungsi menyimpan data semua MT termasuk data dari perangkat MT tersebut.
4. *Authentication Center (AuC)*
Befungsi untuk melayani aturan keamanan dan konfirmasi.
5. *Mobile Switching Center (MSC)*

Berfungsi menangani *circuit switching* dan pensinyalan untuk MT yang berada di dalam area geografis layanannya. MSC dihubungkan dengan MSC yang lain pada operator WAN dan ke PSTN (*Public Switched Telephone Network*) melalui sebuah *gateway*.

6. *Gateway Mobile Service Switching Center (GMSC)*

Merupakan *switch* pada point dimana WCDMA PLMN (*Public Land Mobile Network*) dihubungkan ke jaringan *Circuit Switching* (CS) *eksternal*. Semua CS yang masuk dan keluar harus berhubungan melalui GMSC.

7. *Serving GPRS (General Packet Radio Service) Support Node (SGSN)*

Mempunyai fungsi yang sama dengan MSC tetapi khusus digunakan untuk layanan *packet switching* (PS).

8. *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*

Fungsinya sebagai *interface* antara jaringan *backbone Packet Switching* (PS) WCDMA dengan jaringan *eksternal PDN (Packet Data Network)*, seperti jaringan internet. GGSN akan mengkonversikan paket data dari PDN menjadi *Packet Data Protocol* (PDP) seperti IP atau X.25, kemudian mengirimnya ke jaringan paket data yang dituju, demikian pula sebaliknya.

9. *Radio Network Controller (RNC)*

RNC digunakan untuk mengontrol beberapa Node B pada jaringan. Perbedaan utama fungsi RNC pada WCDMA *Release 99* dengan WCDMA yang menerapkan HSDPA adalah penanganan retransmisi. Pada *Release 99* semua kanal transpor diterminasi pada RNC oleh karena itu mekanisme retransmisi paket data berada di RNC. Sedangkan pada WCDMA yang menerapkan HSDPA diperkenalkan HS-DSCH yang langsung diterminasi pada Node B. Dengan demikian proses retransmisi dapat dikontrol secara langsung oleh Node B yang mengakibatkan retransmisi lebih cepat dan *delay* yang lebih pendek.

10. Node B

Node B mentransmisikan data dari Iub *interface* dan Uu *interface* atau sebaliknya serta ikut mengontrol sumber radio. Pada WCDMA yang menerapkan HSDPA, Node B melakukan terminasi langsung terhadap fitur



HSDPA seperti *shared channel transmission*, HARQ, *Fast Link Adaptation*, AMC, dan *Fast Scheduling*.

11. User Equipment (UE)

HSDPA memiliki 12 tipe UE. Karakteristik dari 12 tipe UE berdasarkan jumlah maksimal kode HS-DSCH yang diterima, bit per TTI, interval inter-TTI minimal, *peak data rates* dan metode modulasi yang didukung, ditampilkan dalam Tabel 3.1.

12. Iub interface

Iub interface berfungsi untuk menghubungkan RNC dengan Node B menggunakan pensinyalan NBAP (Node B Application Part). Kode kanalisasi yang dialokasikan untuk transmisi HSDPA juga memerlukan pensinyalan antara RNC ke Node B.

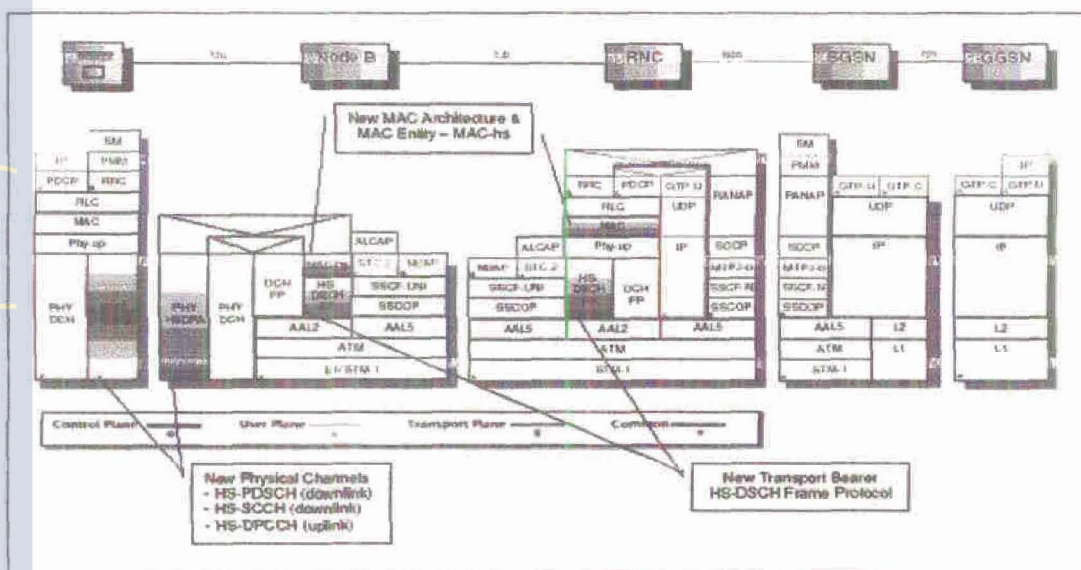
Tabel 3.1 Kategori Terminal HSDPA

Class	Modulation	Max Codes	Min inter-TTI interval	Bits/TTI	Peak UE rate (Mbps)	
1	16QAM	5	3	7298	1.216	
2			2		1.824	
3						
4						
5						3.649
6						
7						
8						
9						
10						
11	QPSK	5		2		3630
12			1	1.815		

Sumber: Jong-Gu Park, 2005: 14

3.4 Protocol Stack HSDPA

Fungsionalitas Node B berbasis *fast scheduling* merupakan fungsionalitas layer MAC sehingga pada HSDPA diperlukan suatu unit protokol baru pada Node B yaitu MAC-hs (hs untuk *high speed*). Protokol tersebut ditampilkan sebagai bagian dari arsitektur protokol *user plane* seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Protocol Stack HSDPA

Sumber: Linda Ekowati, 2008

RNC tetap mempertahankan MAC-d (d untuk *dedicated*), namun fungsi yang masih tersisa hanya sebagai *switching* kanal transpor karena fungsi yang lain seperti *scheduling* dan prioritas penanganan telah dipindahkan ke MAC-hs. Layer di atas MAC yaitu layer RLC (*Radio Link Control*) dibiarkan tetap tanpa perubahan. Berikut adalah penjelasan untuk tiap layer:

1. Physical Layer

Physical layer mendukung transmisi dan penerimaan sinyal antara MS dan BS. *Physical layer* ini mengikuti model referensi *Open Systems Interconnection* (OSI) layer 1. Unit transmisi *physical layer* disebut dengan paket layer fisik.

2. MAC (*Medium Access Control*)

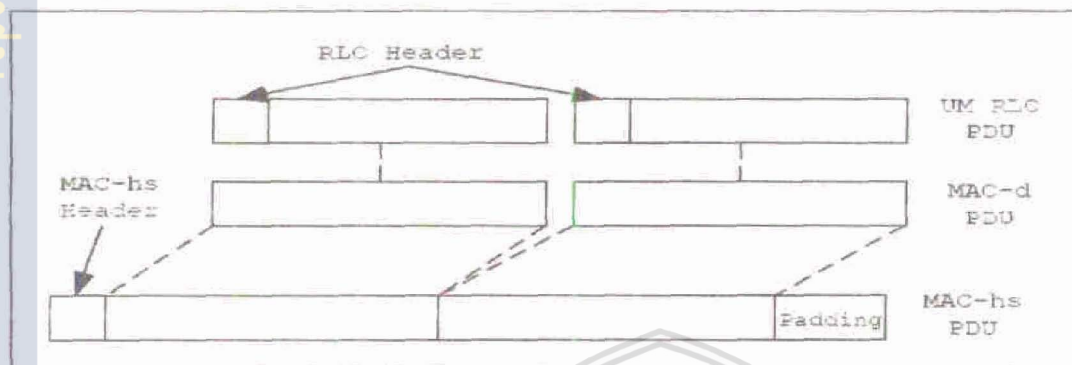
MAC memiliki tugas-tugas antara lain: transfer data, menyeleksi secara tepat kecepatan bit dan kode setiap unit informasi yang dikirimkan menuju layer fisik, *traffic monitoring*, dan *multiplexing*. MAC entity terdiri dari:

- MAC-d, merupakan bagian MAC yang mengatur akses pada kanal *transport*.



- b) MAC-c/sh, merupakan bagian MAC yang mengatur akses pada *common channel* dan *shared channel*, seperti PCH (*Paging Channel*), CPCH (*Common Packet Channel*) dan DSCH (*Downlink Shared Channel*).

Proses pembentukan MAC PDU dari RLC PDU ditampilkan dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pembentukan MAC PDU

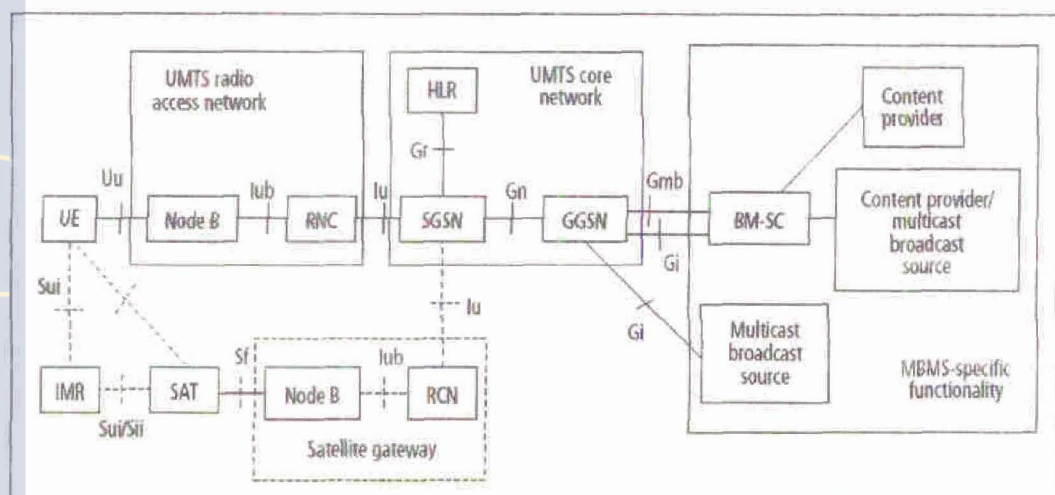
Sumber: <http://www.wireless.agilent.com>

3. RLC (*Radio Link Control*)

RLC berfungsi menghubungkan *layer* kedua menuju *layer* di atasnya, menyalin data, transfer data, dan deteksi kesalahan transmisi yang gagal dari *layer* fisik.

3.5 Penerapan SDMB Pada Jaringan HSDPA

Gambar 3.9 menampilkan arsitektur kombinasi SDMB dan jaringan HSDPA. Bagian yang digambarkan dengan garis putus-putus merupakan bagian satelit, sedangkan sisanya merupakan bagian *terrestrial*. Untuk *direct link* jalur transmisi konten multimedia adalah sebagai berikut: BMSC-GGSN-SGSN-RNC-Node B-Satelit-UE. Sedangkan *indirect link* menggunakan jalur berikut: BMSC-GGSN-SGSN-RNC-Node B-Satelit-IMR-UE.



Gambar 3.9 Arsitektur Penerapan SDMB Pada Jaringan HSDPA

Sumber: Merkouris Karaliopoulos, 2004: 109

Beberapa *interface* yang digunakan adalah:

➤ *Gi interface*

Gi interface berfungsi untuk menghubungkan jaringan GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) dengan jaringan eksternal seperti jaringan internet publik.

➤ *Gmb interface*

Gmb interface merupakan *interface* baru yang digunakan untuk pertukaran pesan *control plane* antara *Broadcast Multicast Service Center* (BMSC) dengan GGSN.

➤ *Gn interface*

Gn interface berfungsi untuk menghubungkan GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) dengan SGSN (*Serving GPRS Support Node*). Protokol-protokol pada *Gn interface* antara lain GTP (*GPRS Tunnelling Protocol*), UDP (*User Datagram Protocol*), dan IP (*Internet Protocol*).

➤ *Iu interface*

Iu interface digunakan untuk menghubungkan jaringan GSM (MSC atau SGSN) dengan RNC (*Radio Network Controller*).

- Iu-CS untuk data *circuit switching*
- Iu-PS untuk data *packet switching*

➤ Iub interface

Iub interface digunakan untuk menghubungkan RNC dengan Node B.

➤ Uu interface

Uu interface digunakan untuk menghubungkan Node B dengan UE (*User Equipment*).

3.6 Analisis Performansi Jaringan

Sehubungan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas pelayanan dibutuhkan suatu jaringan dengan kualitas yang baik untuk mencapai unjuk kerja sistem yang mendukung. Terdapat beberapa kategori yang diperlukan untuk memberikan jaminan kualitas pelayanan pada pelanggan untuk layanan data diantaranya adalah:

3.6.1. Delay

Salah satu ukuran unjuk kerja jaringan data adalah *delay* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuannya. Definisi umum dari *delay* (waktu tunda) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber sampai ke tujuan. Dalam jaringan berbasis *packet switching*, *delay* yang terjadi merupakan penjumlahan *delay-delay* yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuannya pada setiap *hop*. Waktu tunda pengiriman paket data pada jaringan HSDPA dirumuskan seperti dalam persamaan:

$$t_{net} = t_{proc} + t_T + t_P + t_W \quad (3.1)$$

dengan:

- t_{net} = Delay jaringan (detik)
- t_{proc} = Delay proses (detik)
- t_T = Delay transmisi (detik)
- t_P = Delay propagasi (detik)
- t_W = Delay antrian (detik)



Sesuai referensi ETSI untuk aplikasi *real time* [ETSI 101329-2 (2000)], batasan *delay* yang terjadi bisa dikelompokkan sebagai berikut (Seoung-Hoon Oh, 2005: 116):

- *Delay* di bawah 150 ms: *best*
- *Delay* di bawah 250 ms: *high*
- *Delay* di bawah 450 ms: *medium*
- *Delay* di atas 450 ms: *best effort*

3.6.1.1 Delay Proses

Delay proses adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses pada SDMB meliputi *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi. Yang dimaksud *delay* enkapsulasi/ dekapsulasi adalah banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk mengubah segmen TCP/UDP menjadi paket data untuk dilewatkan pada jaringan.

Proses enkapsulasi/ dekapsulasi dimulai dari *Broadcast Multicast Service Center* (BMSC), hingga mencapai tujuan yaitu *User Equipment* (UE), baik melalui *direct link* maupun *indirect link*. Setelah sampai di penerima, maka paket data yang terenkapsulasi tersebut akan didekapsulasi untuk mendapatkan kembali data aslinya. *Delay* enkapsulasi/ dekapsulasi untuk masing-masing *node* sesuai dengan model jaringan adalah:

3.6.1.1.1 Broadcast Multicast Service Center (BMSC)

Dalam perhitungan diasumsikan bahwa besarnya data adalah setelah melewati *layer* aplikasi dan menuju ke *layer* transpor sehingga data akan menjadi paket yang disebut *segment*. Pada *layer* transpor, suatu segmen dapat ditambahkan *header* UDP atau TCP. UDP digunakan jika protokol *layer* transpor tersebut digunakan untuk membawa aplikasi yang bersifat *real time* dan TCP jika menggunakan aplikasi *non real time*. Pada skripsi ini karena aplikasi yang digunakan adalah *mobile TV* yang bersifat *real time* maka yang digunakan adalah UDP. *Payload mobile TV* yang telah ditambahkan dengan *header* MPEG-2 TS dan *header* Reed Solomon pada BMSC

akan ditambahkan dengan *header* UDP sehingga diperoleh panjang segmen UDP yaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{\text{segmen}} = W_{\text{mob(BMSC)}} + \text{header}_{\text{UDP}} \quad (3.2)$$

dengan:

W_{segmen} = Panjang segmen UDP (byte)

$W_{\text{mob(BMSC)}}$ = Panjang paket data aplikasi *mobile* TV di BMSC (byte)

$\text{header}_{\text{UDP}}$ = Panjang *header* UDP (8 byte)

Dari *layer* transpor, segmen ini kemudian dikirim ke *layer* internet untuk diubah menjadi *datagram* IP dengan penambahan *header* IP. Apabila panjang segmen UDP melebihi MSS (*Maximum Segment Size*) yaitu sebesar 65511 byte maka segmen UDP tersebut akan disegmentasi terlebih dulu menjadi beberapa segmen baru kemudian ditambahkan dengan *header* IP. Apabila segmen UDP yang diterima tidak melebihi MSS IP, maka segmen UDP tersebut akan langsung ditambahkan *header* IP menjadi *datagram* IP. Karena IP yang digunakan adalah IPv6 maka besarnya *header* IP adalah 40 byte. Panjang *datagram* IP diperoleh dengan berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{\text{datagram}} = W_{\text{segmen}} + \text{header}_{\text{IP}} \quad (3.3)$$

dengan:

W_{datagram} = Panjang *datagram* IP (byte)

W_{segmen} = Panjang segmen UDP (byte)

$\text{header}_{\text{IP}}$ = Panjang *header* IP (40 byte)

Kemudian pada *data link layer*, apabila *datagram* IP yang diterima melebihi MTU (*Maximum Transmission Unit*) *Ethernet* sebesar 1500 byte maka *datagram* IP tersebut akan disegmentasi terlebih dulu baru ditambahkan dengan *header Ethernet* dan FCS. Apabila *datagram* IP tidak melebihi MTU *Ethernet*, *datagram* IP akan langsung ditambahkan dengan *header Ethernet* dan FCS. Sehingga jumlah total *frame* yang siap untuk ditransmisikan ke GGSN yaitu berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{\text{frame BMSC}} = W_{\text{datagram}} + \text{header}_{\text{Ethernet}} + \text{FCS} \quad (3.4)$$

dengan:

$W_{frame\ BMSC}$	= Panjang <i>frame</i> dari BMSC (byte)
$W_{datagram}$	= Panjang <i>datagram</i> IP (byte)
$header_{Ethernet}$	= Panjang <i>header Ethernet</i> (14 byte)
FCS	= Panjang <i>Frame Check Sequence</i> (4 byte)

Sehingga *delay* enkapsulasi pada BMSC yang terjadi didapatkan berdasarkan persamaan berikut:

$$t_{E1} = \frac{W_{frame\ BMSC}}{C_{BMSC}} \times 8 \quad (3.5)$$

dengan:

t_{E1}	= <i>Delay</i> enkapsulasi di BMSC (detik)
$W_{frame\ BMSC}$	= Panjang <i>frame</i> BMSC (byte)
C_{BMSC}	= Kecepatan transmisi data di BMSC (bps)

3.6.1.1.2 Gateway GPRS Support Node (GGSN)

Pada GGSN paket yang diterima dari BMSC akan mengalami proses dekapsulasi. *Frame* BMSC yang diterima di GGSN akan didekapsulasi untuk mendapatkan data aplikasi sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{mob(GGSN)} = W_{frame\ BMSC} - header_{IP} - header_{UDP} - header_{ethernet} - FCS \quad (3.6)$$

dengan:

$W_{mob(GGSN)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile TV</i> di GGSN (byte)
$W_{frame\ BMSC}$	= Panjang <i>frame</i> di BMSC (byte)
$header_{IP}$	= Panjang <i>header</i> IP (40 byte)
$header_{UDP}$	= Panjang <i>header</i> UDP (8 byte)
$header_{ethernet}$	= Panjang <i>header Ethernet</i> (14 byte)
FCS	= Panjang <i>Frame Check Sequence</i> (4 byte)

Besarnya *delay* dekapsulasi yang terjadi pada GGSN diberikan oleh persamaan berikut:

$$t_{D1} = \frac{W_{mob(GGSN)}}{C_{GGSN}} \times 8 \quad (3.7)$$

dengan:

- t_{D1} = Delay dekapsulasi pada GGSN (detik)
 $W_{mob(GGSN)}$ = Panjang paket data aplikasi *mobile* TV di GGSN (byte)
 C_{GGSN} = Kecepatan transmisi data pada GGSN (bps)

Pada GGSN, apabila data aplikasi yang diterima melebihi MTU maka disegmentasi menjadi *frame* GGSN sesuai dengan MTU *Ethernet* sebesar 1500 byte. Apabila data aplikasi yang diterima tidak melebihi MTU *Ethernet*, maka *frame* tersebut langsung dienkapsulasi dengan menambahkan *header* GTP, UDP, IP dan *header Ethernet* serta FCS pada *interface layer* sebelum ditransmisikan ke SGSN yaitu sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{frameGGSN} = W_{mob(GGSN)} + header_{GTP} + header_{IP} + header_{UDP} + header_{ethernet} + FCS \quad (3.8)$$

dengan:

- $W_{frameGGSN}$ = Panjang *frame* di GGSN (byte)
 $W_{mob(GGSN)}$ = Panjang paket data aplikasi *mobile* TV di GGSN (byte)
 $header_{GTP}$ = Panjang *header* GTP (8 byte)
 $header_{IP}$ = Panjang *header* IP (40 byte)
 $header_{UDP}$ = Panjang *header* UDP (8 byte)
 $header_{ethernet}$ = Panjang *header Ethernet* (14 byte)
 FCS = Panjang *Frame Check Sequence* (4 byte)

Nilai *delay* enkapsulasi yang terjadi di GGSN adalah:

$$t_{E2} = \frac{W_{frameGGSN}}{C_{GGSN}} \times 8 \quad (3.9)$$

dengan:

- t_{E2} = Delay enkapsulasi pada GGSN (detik)
 $W_{frameGGSN}$ = Panjang *frame* di GGSN (byte)
 C_{GGSN} = Kecepatan transmisi data pada GGSN (bps)

3.6.1.1.3 Serving GPRS Support Node (SGSN)

Pada SGSN terjadi proses dekapsulasi terhadap paket data yang diterima dari GGSN. Paket data tersebut didekapsulasi sesuai dengan rumus:

$$W_{mob(SGSN)} = W_{frameGGSN} - header_{GTP} - header_{IP} - header_{UDP} - header_{ethernet} - FCS \quad (3.10)$$

dengan:

$W_{mob(SGSN)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di SGSN (byte)
$W_{frameGGSN}$	= Panjang <i>frame</i> di GGSN (byte)
$header_{GTP}$	= Panjang <i>header</i> GTP (8 byte)
$header_{IP}$	= Panjang <i>header</i> IP (40 byte)
$header_{UDP}$	= Panjang <i>header</i> UDP (8 byte)
$header_{ethernet}$	= Panjang <i>header Ethernet</i> (14 byte)
FCS	= Panjang <i>Frame Check Sequence</i> (4 byte)

Nilai *delay* dekapsulasi yang terjadi di SGSN adalah:

$$t_{D2} = \frac{W_{mob(SGSN)}}{C_{SGSN}} \times 8 \quad (3.11)$$

dengan:

t_{D2}	= <i>Delay</i> dekapsulasi pada SGSN (detik)
$W_{mob(SGSN)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di SGSN (byte)
C_{SGSN}	= Kecepatan transmisi data pada SGSN (bps)

Selanjutnya paket data aplikasi *mobile* TV ditambahkan *header* GTP, UDP dan IP. Saat memasuki lapisan AAL5, paket data tersebut dibentuk menjadi CPCS PDU (*Common Part Convergence Sublayer Protocol Data Unit*) yang mencakup sebuah *trailer* dengan bidang-bidang berikut (William Stallings, 2000: 381):

- *Padding*, berfungsi untuk penjajaran CPCS PDU menjadi 48 byte (0-47 byte)
- *CPCS User-to-user indication* (1 byte)
- *Common Part Indicator* (1 byte)
- Panjang bidang *payload* PDU CPCS (2 byte)
- *Cyclic Redundancy Check* (4 byte)

Sehingga panjang *frame* menjadi:

$$W_{frame AAL5} = W_{mob(SGSN)} + header_{GTP} + header_{IP} + header_{UDP} + header_{AAL5} \quad (3.12)$$

dengan:

$W_{frameAAL5}$	= Panjang <i>frame</i> AAL5 (byte)
$W_{mob(SGSN)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di SGSN (byte)

$header_{GTP}$	= Panjang <i>header</i> GTP (8 byte)
$header_{IP}$	= Panjang <i>header</i> IP (40 byte)
$header_{UDP}$	= Panjang <i>header</i> UDP (8 byte)
$header_{AAL5}$	= Panjang <i>header</i> AAL5 (8 byte)

Pada *layer* ATM, *frame* AAL5 tersebut kemudian akan dipecah menjadi blok-blok *payload* PDU SAR (*Segmentation and Reassembly Sublayer*) sebesar 48 byte. Masing-masing PDU SAR 48 byte sesuai dengan sel ATM tunggal. Sehingga banyaknya sel ATM yang terbentuk adalah:

$$N_{frame\ ATM} = \frac{W_{frame\ AAL5}}{48\ byte} \quad (3.13)$$

dengan:

$N_{frame\ ATM}$	= Jumlah <i>frame</i> ATM
$W_{frame\ AAL5}$	= Panjang total <i>frame</i> AAL5 (byte)

Selanjutnya setiap sel ATM diberi *header* ATM sebesar 5 byte sehingga panjang *frame* ATM menjadi 53 byte. Panjang *frame* di SGSN yang siap ditransmisikan menuju RNC merupakan panjang *frame* ATM total, yaitu:

$$W_{frame\ SGSN} = W_{frame\ ATM\ total} = N_{frame\ ATM} \times W_{frame\ ATM} \quad (3.14)$$

dengan:

$W_{frame\ SGSN}$	= Panjang <i>frame</i> SGSN (byte)
$W_{frame\ ATM\ total}$	= Panjang <i>frame</i> ATM total (byte)
$N_{frame\ ATM}$	= Jumlah <i>frame</i> ATM
$W_{frame\ ATM}$	= Panjang <i>frame</i> ATM (53 byte)

Sehingga *delay* enkapsulasi yang terjadi pada SGSN adalah:

$$t_{E3} = \frac{W_{frame\ SGSN}}{C_{SGSN-RNC}} \times 8 \quad (3.15)$$

dengan:

t_{E3}	= <i>Delay</i> enkapsulasi pada SGSN (detik)
$W_{frame\ SGSN}$	= Panjang <i>frame</i> di SGSN (byte)
$C_{SGSN-RNC}$	= Kecepatan transmisi data pada hubungan SGSN-RNC (bps)



3.6.1.1.4 Radio Network Controller (RNC)

Paket data yang diterima dari SGSN akan didekapsulasi pada RNC. Proses dekapsulasi tersebut sesuai dengan rumus berikut:

$$W_{mob(RNC)} = W_{frameSGSN} - header_{ATM} - header_{GTP} - header_{IP} - header_{UDP} - header_{AAL5} \quad (3.16)$$

dengan:

$W_{mob(RNC)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di RNC (byte)
$W_{frameSGSN}$	= Panjang <i>frame</i> di SGSN (byte)
$header_{ATM}$	= Panjang <i>header</i> ATM (byte)
$header_{GTP}$	= Panjang <i>header</i> GTP (8 byte)
$header_{IP}$	= Panjang <i>header</i> IP (40 byte)
$header_{UDP}$	= Panjang <i>header</i> UDP (8 byte)
$header_{AAL5}$	= Panjang <i>header</i> AAL5 (8 byte)

Besarnya *delay* dekapsulasi yang terjadi pada RNC diberikan oleh persamaan berikut:

$$t_{D3} = \frac{W_{mob(RNC)}}{C_{RNC}} \times 8 \quad (3.17)$$

dengan:

t_{D3}	= <i>Delay</i> dekapsulasi pada RNC (detik)
$W_{mob(RNC)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di RNC (byte)
C_{RNC}	= Kecepatan transmisi data pada RNC (bps)

Selanjutnya paket data aplikasi tersebut dienkapsulasi pada *layer* PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) dengan diberi *header* PDCP sebesar 1 byte.

$$W_{framePDCP} = W_{mob(RNC)} + header_{PDCP} \quad (3.18)$$

dengan:

$W_{framePDCP}$	= Panjang <i>frame</i> PDCP (byte)
$W_{mob(RNC)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di RNC (byte)
$header_{PDCP}$	= Panjang <i>header</i> PDCP (1 byte)

Pada *layer* RLC, *frame* PDCP akan disegmentasi menjadi RLC PDU *fixed size* yaitu sebesar 40 byte (Anthony Lo, 2004: 8). Sehingga jumlah *frame* RLC sesuai dengan persamaan berikut:

$$N_{frameRLC} = \frac{W_{framePDCP}}{40 \text{ byte}} \quad (3.19)$$

dengan:

$N_{frameRLC}$ = Jumlah *frame* RLC

$W_{framePDCP}$ = Panjang *frame* PDCP (byte)

Selanjutnya setiap *frame* RLC diberi *header* RLC sebesar 2 byte sehingga panjang *frame* RLC menjadi 42 byte. Sehingga panjang *frame* RLC total yang siap diteruskan ke *layer* MAC-d menjadi:

$$W_{frameRLC \text{ total}} = N_{frameRLC} \times W_{frameRLC} \quad (3.20)$$

dengan:

$W_{frameRLC \text{ total}}$ = Panjang *frame* RLC total (byte)

$N_{frameRLC}$ = Jumlah *frame* RLC

$W_{frameRLC}$ = Panjang *frame* RLC (42 byte)

Pada *layer* MAC-d, RLC PDU akan disegmentasi menjadi MAC-d SDU (*Service Data Unit*). Besarnya MAC-d SDU tergantung pada besarnya RLC PDU yang telah ditetapkan yaitu sebesar 42 byte. Jumlah *frame* MAC-d SDU sesuai dengan persamaan berikut:

$$N_{frameMAC-d} = \frac{W_{frameRLC \text{ total}}}{42 \text{ byte}} \quad (3.21)$$

dengan:

$N_{frameMAC-d}$ = Jumlah *frame* MAC-d

$W_{frameRLC \text{ total}}$ = Panjang *frame* RLC total (byte)

Panjang *frame* MAC-d dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{frameMAC-d} = \text{header}_{MAC} + 42 \text{ byte} \quad (3.22)$$

dengan:

$W_{frameMAC-d}$ = Panjang *frame* MAC-d (byte)

$header_{MAC}$ = Panjang *header* MAC (3 byte)

Pada HS-DSCH FP (*Frame Protocol*) *frame* MAC-d dienkapsulasi dengan menambahkan *header* FP dan CRC sesuai persamaan berikut:

$$W_{frame\ FP} = W_{frame\ MAC-d} + header_{FP} + CRC \quad (3.23)$$

dengan:

$W_{frame\ FP}$ = Panjang *frame* HS-DSCH FP (byte)

$W_{frame\ MAC-d}$ = Panjang *frame* MAC-d (byte)

$header_{FP}$ = Panjang *header* HS-DSCH FP (7 byte)

CRC = *Cyclic Redudancy Check* (2 byte)

Sehingga panjang *frame* HS-DSCH FP total adalah sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{frame\ FP\ total} = N_{frame\ MAC-d} \times W_{frame\ FP} \quad (3.24)$$

dengan:

$W_{frame\ FP\ total}$ = Panjang *frame* HS-DSCH FP total (byte)

$N_{frame\ MAC-d}$ = Jumlah *frame* MAC-d

$W_{frame\ FP}$ = Panjang *frame* HS-DSCH FP (byte)

Saat memasuki *layer* AAL2, paket data dibentuk menjadi paket CPS (*Common Part Sublayer*) dengan ditambahkan *header* sebesar 3 byte yang terdiri atas:

- *Channel Identification* (8 bit)
- *Length Indicator* (6 bit)
- *User-to-user Indication* (5 bit)
- *Header Error Control* (5 bit)

Sehingga panjang *frame* menjadi:

$$W_{frame\ AAL2} = W_{frame\ FP\ total} + header_{AAL2} \quad (3.25)$$

dengan:

$W_{frame\ AAL2}$ = Panjang *frame* AAL2 (byte)

$W_{frame\ FP\ total}$ = Panjang *frame* HS-DSCH FP total (byte)

$Header_{AAL2}$ = Panjang *header* AAL2 (3 byte)

Pada *layer* ATM, *frame* AAL2 tersebut kemudian akan dipecah menjadi blok-blok *payload* PDU SAR (*Segmentation and Reassembly Sublayer*) sebesar 48 byte. Masing-masing PDU SAR 48 byte sesuai dengan sel ATM tunggal. Sehingga banyaknya sel ATM yang terbentuk adalah:

$$N_{frame\ ATM2} = \frac{W_{frame\ AAL2}}{48\ byte} \quad (3.26)$$

dengan:

$$\begin{aligned} N_{frame\ ATM} &= \text{Jumlah } frame\ ATM \text{ pada RNC} \\ W_{frame\ AAL2} &= \text{Panjang total } frame\ AAL2 \text{ (byte)} \end{aligned}$$

Selanjutnya setiap sel ATM diberi *header* ATM sebesar 5 byte sehingga panjang *frame* ATM menjadi 53 byte. Panjang *frame* di RNC yang siap ditransmisikan menuju UE merupakan panjang *frame* ATM total, yaitu:

$$W_{frame\ RNC} = W_{frame\ ATM2\ total} = N_{frame\ ATM2} \times W_{frame\ ATM} \quad (3.27)$$

dengan:

$$\begin{aligned} W_{frame\ RNC} &= \text{Panjang } frame\ RNC \text{ (byte)} \\ W_{frame\ ATM2\ total} &= \text{Panjang } frame\ ATM \text{ total pada RNC (byte)} \\ N_{frame\ ATM2} &= \text{Jumlah } frame\ ATM \text{ pada RNC} \\ W_{frame\ ATM} &= \text{Panjang } frame\ ATM \text{ (53 byte)} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* enkapsulasi yang terjadi pada RNC adalah:

$$t_{E4} = \frac{W_{frame\ RNC}}{C_{RNC}} \times 8 \quad (3.28)$$

dengan:

$$\begin{aligned} t_{E4} &= \text{Delay enkapsulasi pada RNC (detik)} \\ W_{frame\ RNC} &= \text{Panjang } frame \text{ di RNC (byte)} \\ C_{RNC} &= \text{Kecepatan transmisi data pada RNC (bps)} \end{aligned}$$

3.6.1.1.5 Node B

Pada Node B paket data yang diterima dari RNC didekapsulasi sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{mob(NodeB)} = W_{frameRNC} - header_{ATM} - header_{AAL2} - header_{FP} - CRC \quad (3.29)$$

dengan:

$W_{mob(Node\ B)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di Node B (byte)
$W_{frameRNC}$	= Panjang <i>frame</i> di RNC (byte)
$header_{ATM}$	= Panjang <i>header</i> ATM (5 byte)
$header_{AAL2}$	= Panjang <i>header</i> AAL2 (3 byte)
$header_{FP}$	= Panjang <i>header</i> HS-DSCH FP (7 byte)
CRC	= <i>Cyclic Redudancy Check</i> (2 byte)

Delay dekapsulasi yang terjadi pada Node B adalah:

$$t_{DA} = \frac{W_{mob(NodeB)}}{C_{NodeB}} \times 8 \quad (3.30)$$

dengan:

t_{DA}	= Delay dekapsulasi pada Node B (detik)
$W_{mob(Node\ B)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di Node B (byte)
$C_{Node\ B}$	= Kecepatan transmisi data pada Node B (bps)

Pada saat memasuki *layer* MAC-hs, paket data disegmentasi menjadi paket sebesar 42 byte. Jumlah *frame* MAC-hs sesuai dengan persamaan berikut:

$$N_{frame\ MAC-hs} = \frac{W_{mob(NodeB)}}{42\ byte} \quad (3.31)$$

dengan:

$N_{frame\ MAC-hs}$	= Jumlah <i>frame</i> MAC-hs
$W_{mob(Node\ B)}$	= Panjang paket data aplikasi <i>mobile</i> TV di Node B (byte)

Panjang *frame* MAC-hs dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{frame\ MAC-hs} = header_{MAC} + 42\ byte \quad (3.32)$$

dengan:

$W_{frame\ MAC-hs}$	= Panjang <i>frame</i> MAC-hs (byte)
$header_{MAC}$	= Panjang <i>header</i> MAC (3 byte)

Sehingga panjang *frame* pada Node B total adalah sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{frame\ NodeB} = N_{frame\ MAC-hs} \times W_{frame\ MAC-hs} \quad (3.33)$$

dengan:

$W_{frame\ FP\ total}$ = Panjang *frame* HS-DSCH FP total (byte)

$N_{frame\ MAC-d}$ = Jumlah *frame* MAC-d

$W_{frame\ FP}$ = Panjang *frame* HS-DSCH FP (byte)

Delay enkapsulasi yang terjadi pada Node B adalah:

$$t_{E5} = \frac{W_{frame\ NodeB}}{C_{NodeB}} \times 8 \quad (3.34)$$

dengan:

t_{E5} = Delay enkapsulasi pada Node B (detik)

$W_{frameNodeB}$ = Panjang *frame* di Node B (byte)

C_{NodeB} = Kecepatan transmisi data pada Node B (bps)

3.6.1.1.6 User Equipment (UE)

Paket data dari Node B mengalami dekapsulasi pada UE. Proses dekapsulasi tersebut sesuai rumus berikut:

$$W_{mob(UE)} = W_{frameNodeB} - header_{PDCP} - header_{RLC} - header_{MAC} \quad (3.35)$$

dengan:

$W_{mob(UE)}$ = Panjang paket data aplikasi *mobile TV* di UE (byte)

$W_{frame\ NodeB}$ = Panjang *frame* di Node B (byte)

$header_{PDCP}$ = Panjang *header* PDCP (1 byte)

$header_{RLC}$ = Panjang *header* RLC (2 byte)

$header_{MAC}$ = Panjang *header* MAC (3 byte)

$header_{FP}$ = Panjang *header* HS-DSCH FP (7 byte)

CRC = *Cyclic Redundancy Check* (2 byte)

$header_{AAL2}$ = Panjang *header* AAL2 (3 byte)

$header_{ATM}$ = Panjang *header* ATM (5 byte)

Besarnya *delay* dekapsulasi yang terjadi pada UE diberikan oleh persamaan berikut:

$$t_{D5} = \frac{W_{mob(UE)}}{C_{UE}} \times 8 \quad (3.36)$$

dengan:

- t_{D5} = Delay dekapsulasi pada UE (detik)
 $W_{mob(UE)}$ = Panjang paket data aplikasi *mobile* TV di UE (byte)
 C_{UE} = Kecepatan data pada UE (bps)

3.6.1.1.7 Delay Proses Total

Sehingga nilai *delay* proses total dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 t_{Etotal} &= t_{E1} + t_{E2} + t_{E3} + t_{E4} + t_{E5} \\
 t_{Dtotal} &= t_{D1} + t_{D2} + t_{D3} + t_{D4} + t_{D5} \\
 t_{proc} &= t_{Etotal} + t_{Dtotal}
 \end{aligned}
 \tag{3.37}$$

3.6.1.2 Delay Transmisi

Delay transmisi merupakan waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan sebuah paket data melalui media transmisi tertentu. Secara umum *delay* transmisi didefinisikan sebagai:

$$t_{T(n)} = \frac{l + l'}{C_{link}} \tag{3.38}$$

dengan:

- $t_{T(n)}$ = Delay transmisi (detik)
 l = Panjang data (bit)
 l' = Jumlah *header* (bit)
 C_{link} = Kecepatan transmisi pada masing-masing saluran transmisi yang menghubungkan setiap node (bps)

Untuk penerapan sistem SDMB pada jaringan HSDPA *delay* transmisi yang terjadi untuk masing-masing *interface* adalah:

3.6.1.2.1 BMSC-GGSN (Gmb Interface)

BMSC dan GGSN diasumsikan dihubungkan dengan *interface Gigabit Ethernet* dengan kecepatan 1 Gbps. Sehingga nilai *delay* transmisi pada Gmb *interface* adalah:



$$t_{T1} = \frac{W_{frame\ BMSC}}{C_{eth}} \times 8 \quad (3.39)$$

dengan:

- t_{T1} = Delay transmisi pada Gmb interface (detik)
 $W_{frame\ BMSC}$ = Panjang frame di BMSC (byte)
 C_{eth} = Kecepatan transmisi data pada BMSC (bps)

3.6.1.2.2 GGSN-SGSN (Gn Interface)

Hubungan antara GGSN dan SGSN menggunakan *Fast Ethernet* dengan kecepatan transmisi data sebesar 100 Mbps. Besarnya *delay* transmisi yang terjadi adalah:

$$t_{T2} = \frac{W_{frame\ GGSN}}{C_{eth}} \times 8 \quad (3.40)$$

dengan:

- t_{T2} = Delay transmisi pada Gn interface (detik)
 $W_{frame\ GGSN}$ = Panjang frame di GGSN (byte)
 C_{eth} = Kecepatan transmisi data pada GGSN (bps)

3.6.1.2.3 SGSN-RNC (Iu Interface)

Iu interface yang menghubungkan antara SGSN dan RNC menggunakan interface sistem transmisi digital STM-1 yang memberikan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps. Sehingga nilai *delay* transmisinya didapatkan sebagai berikut:

$$t_{T3} = \frac{W_{frame\ SGSN}}{C_{ATM}} \times 8 \quad (3.41)$$

dengan:

- t_{T3} = Delay transmisi pada Iu interface (detik)
 $W_{frame\ SGSN}$ = Panjang frame di SGSN (byte)
 C_{ATM} = Kecepatan transmisi data pada SGSN (bps)

3.6.1.2.4 RNC-Node B (Iub Interface)

RNC dan Node B dihubungkan dengan Iub interface yang menggunakan sistem transmisi digital STM-1 dengan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps.

Besarnya *delay* transmisi yang terjadi pada hubungan antara RNC dan Node B adalah:

$$t_{TA} = \frac{W_{frame\ RNC}}{C_{ATM}} \times 8 \quad (3.42)$$

dengan:

- t_{TA} = Delay transmisi pada *Iub interface* (detik)
 $W_{frame\ RNC}$ = Panjang *frame* di RNC (byte)
 C_{ATM} = Kecepatan transmisi data pada RNC (bps)

3.6.1.2.5 SDMB hub-Satelit (Uu (sat) Interface)

Hubungan antara SDMB hub dan satelit menggunakan pita Ku-band yang memiliki kecepatan data untuk *uplink* sebesar 40 Mbps. Besarnya *delay* transmisi yang terjadi pada hubungan antara SDMB hub dan satelit adalah:

$$t_{TS} = \frac{W_{frame\ NodeB}}{C_{sat(ku)}} \times 8 \quad (3.43)$$

dengan:

- t_{TS} = Delay transmisi pada *interface* antara SDMB hub-satelit (detik)
 $W_{frame\ NodeB}$ = Panjang *frame* di Node B (byte)
 $C_{sat(ku)}$ = Kecepatan transmisi data *uplink* satelit pada Ku-band (bps)

3.6.1.2.6 Satelit-UE (Uu (sat) Interface)

Hubungan antara satelit dan UE menggunakan pita S-band yang memiliki kecepatan data untuk *uplink* sebesar 7,68 Mbps. Besarnya *delay* transmisi yang terjadi pada hubungan antara satelit dan UE adalah:

$$t_{T6} = \frac{W_{frame\ NodeB}}{C_{sat(s)}} \times 8 \quad (3.44)$$

dengan:

- t_{T6} = Delay transmisi pada *interface* antara SDMB hub-satelit (detik)
 $W_{frame\ NodeB}$ = Panjang *frame* di Node B (byte)
 $C_{sat(S)}$ = Kecepatan transmisi data *uplink* satelit pada S-band (bps)

3.6.1.2.7 Satelit-IMR (Uu (sat) Interface)

Hubungan antara satelit dan IMR menggunakan pita Ku-band yang menyediakan kecepatan data *downlink* sebesar 80 Mbps. Besarnya *delay* transmisi yang terjadi pada hubungan antara satelit dan IMR adalah:

$$t_{T7} = \frac{W_{frame\ NodeB}}{C_{sat(ku)}} \times 8 \quad (3.45)$$

dengan:

- t_{T7} = Delay transmisi pada *interface* antara satelit-IMR (detik)
 $W_{frame\ NodeB}$ = Panjang *frame* di Node B (byte)
 $C_{sat(Ku)}$ = Kecepatan transmisi data *downlink* satelit pada Ku-band (bps)

3.6.1.2.8 IMR-UE (Uu Interface)

IMR dan UE dihubungkan dengan *Uu interface*. Besarnya *delay* transmisi yang terjadi pada *Uu interface* bergantung pada *data rate* UE dan dirumuskan sebagai:

$$t_{T8} = \frac{W_{frame\ NodeB}}{n \times C_{UE}} \times 8 \quad (3.46)$$

dengan:

- t_{T8} = Delay transmisi pada *Uu interface* (detik)
 $W_{frame\ NodeB}$ = Panjang *frame* di Node B (byte)
 n = Jumlah slot pada UE
 C_{UE} = Kecepatan data pada UE (bps)

Jumlah slot ditentukan oleh *chip rate* HSDPA yaitu sebesar 3,84 Mcps. *Chip rate* sebesar 3,84 Mcps selanjutnya dibagi menjadi *radio frame* 2 ms. Satu slot terdiri dari 2560 chip sehingga banyaknya slot adalah:

$$\begin{aligned} n &= \frac{(\text{chip rate} \times \text{radio frame})}{2560 \text{ chip}} \\ &= \frac{(3,84 \cdot 10^6 \text{ chip/s} \times 2 \cdot 10^{-3} \text{ s})}{2560 \text{ chip}} \\ &= \frac{7680 \text{ chip}}{2560 \text{ chip}} \\ &= 3 \text{ slot} \end{aligned}$$

3.6.1.2.9 Delay Transmisi Total

Delay transmisi total yang terjadi untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA terdiri dari delay transmisi total untuk *direct link* dan *indirect link* yaitu:

$$t_{T(direct)total} = t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{TE4} + t_{T5} + t_{T6} \tag{3.47}$$

$$t_{T(indirect)total} = t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{TE4} + t_{T5} + t_{T7} + t_{T8} \tag{3.48}$$

3.6.1.3 Delay Propagasi

Delay propagasi merupakan waktu yang diperlukan untuk merambatkan paket data melalui media transmisi. Persamaan *delay* propagasi ditentukan sesuai dengan rumus berikut:

$$t_{P(n)} = \frac{N_{frame} \times R}{v} \tag{3.49}$$

dengan:

- $t_{P(n)}$ = Delay propagasi (detik)
- N_{frame} = Jumlah *frame* yang ditransmisikan
- R = Jarak antar *node* (m)
- v = Cepat rambat dalam medium (m/s)

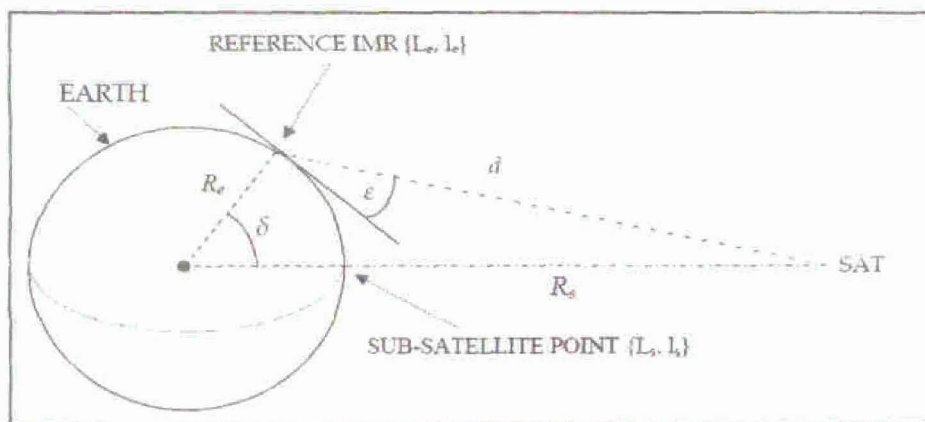
Tabel 3.2 berikut menampilkan referensi jarak tiap node pada jaringan HSDPA:

Tabel 3.2 Jarak Tiap Node Pada HSDPA

Node	Jarak (m)
GGSN-SGSN	2000
SGSN-RNC	3000
RNC-Node B	400

Sumber: Linda Ekowati, 2008:68

IMR memiliki radius maksimal 400 meter (Ymed Rahmania, 2005: 43). Jarak antara IMR dengan satelit ditentukan dengan beberapa parameter sesuai Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Parameter Penentuan Jarak IMR-Satelit

Sumber: Ymed Rahmania, 2005: 46

Jarak antara satelit dan IMR dirumuskan sebagai:

$$d = (R_e + R_s) \sqrt{1 + \left(\frac{R_e}{R_e + R_s} \right)^2 - 2 \left(\frac{R_e}{R_e + R_s} \right) \cos(\delta)} \quad (3.50)$$

$$\cos(\delta) = \cos(L_e) \cos(L_s) \cos(l_s - l_e) + \sin(L_e) \sin(L_s) \quad (3.51)$$

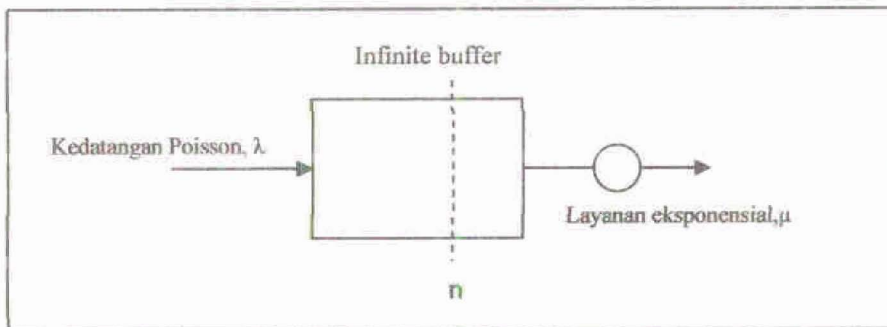
dengan:

- d = Jarak antara satelit dan IMR (km)
- δ = Sudut pusat (derajat)
- R_e = Jari-jari bumi (km)
- R_s = *Altitude* satelit GEO (km)
- L_e = Koordinat lintang posisi IMR (derajat)
- l_e = Koordinat bujur posisi IMR (derajat)
- L_s = Koordinat lintang posisi *sub-satellite point* (derajat)
- l_s = Koordinat bujur posisi *sub-satellite point* (derajat)

3.6.1.4 Delay Antrian

Delay antrian adalah waktu saat paket multimedia berada dalam antrian untuk diproses. Selama waktu ini paket data menunggu sampai selesainya paket lain ditransmisikan. *Delay* antrian dapat dihitung dengan menggunakan model antrian

M/M/1. M pertama menunjukkan distribusi kedatangan *Poisson*, M kedua berarti distribusi waktu pelayanan eksponensial, dan 1 menunjukkan bahwa jumlah *server* adalah tunggal. Disiplin antrian yang digunakan adakah FIFO (*First In First Out*). Gambar 3.11 menampilkan model antrian M/ M/1.



Gambar 3.11 Model Antrian M/M/1

Sumber: Mischa Schwartz, 1987: 31

Besarnya *delay* antrian yang terjadi pada node yaitu:

$$t_w = t_{queue} + t_{serv} \quad (3.52)$$

dengan:

t_w = Delay antrian pada node (detik)

t_{queue} = Waktu tunggu paket pada node (detik)

t_{serv} = Waktu rata-rata pelayanan node (detik)

sementara itu:

$$t_{serv} = \frac{1}{\mu} \quad (3.53)$$

dengan:

t_{serv} = Waktu rata-rata pelayanan node (detik)

μ = Kecepatan pelayanan node (paket/detik)

Nilai kecepatan pelayanan node diperoleh dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987: 23):

$$\mu = \frac{C}{L} \quad (3.54)$$

dengan :



μ = Kecepatan pelayanan node (paket/detik)

C = Kapasitas kanal (bps)

L = Panjang paket multimedia (bit/paket)

Performansi sistem antrian ditunjukkan dalam bentuk utilisasi

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \Rightarrow \lambda = \mu\rho \quad (3.55)$$

dengan:

ρ = Utilisasi ($0 < \rho < 1$)

λ = Kecepatan kedatangan paket pada node (paket/detik)

μ = Kecepatan pelayanan node (paket/detik)

Dengan menggunakan teori Little diperoleh nilai *delay* antrian:

$$t_w = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \quad (3.56)$$

dengan :

t_w = Delay antrian (detik)

μ = Kecepatan pelayanan node (paket/detik)

ρ = Utilisasi ($0 < \rho < 1$)

Dari persamaan di atas maka waktu tunggu paket dirumuskan :

$$t_{queue} = t_w - t_{serv} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (3.57)$$

dengan :

t_{queue} = Waktu tunggu paket pada node (detik)

t_w = Delay antrian (detik)

t_{serv} = Waktu rata-rata pelayanan node (detik)

λ = Kecepatan kedatangan paket pada node (paket/detik)

μ = Kecepatan pelayanan node (paket/detik)

Dari Persamaan (3.53) dan (3.57) maka *delay* antrian dapat dituliskan sebagai :

$$t_w = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu} \quad (3.58)$$

dengan :

- t_w = Delay antrian (detik)
 λ = Kecepatan kedatangan paket pada node (paket/detik)
 μ = Kecepatan pelayanan node (paket/detik)

3.6.2 Probabilitas *Packet Loss*

Perhitungan probabilitas *packet loss* total aplikasi *mobile TV* untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\rho_{tot} = 1 - [(1 - \rho_{network})(1 - \rho_{mobileTV})] \quad (3.59)$$

dengan probabilitas *packet loss* pada jaringan ($\rho_{network}$) dihitung dari probabilitas *packet loss* yang terjadi pada *air interface* HSDPA, *air interface* satelit, RAN (*node B*, RNC), *core network* (SGSN, GGSN) serta pada BMSC (*Broadcast Multicast Service Center*) dengan persamaan:

$$\rho_{network} = 1 - [(1 - \rho_{AI})(1 - \rho_{NodeB})(1 - \rho_{RNC})(1 - \rho_{SGSN})(1 - \rho_{GGSN})(1 - \rho_{BMSC})] \quad (3.60)$$

dengan:

- $\rho_{network}$ = Probabilitas *packet loss* pada jaringan HSDPA
 ρ_{AI} = Probabilitas *packet loss* pada *air interfaces*
 ρ_{NodeB} = Probabilitas *packet loss* pada Node B
 ρ_{RNC} = Probabilitas *packet loss* pada RNC
 ρ_{SGSN} = Probabilitas *packet loss* pada SGSN
 ρ_{GGSN} = Probabilitas *packet loss* pada GGSN
 ρ_{BMSC} = Probabilitas *packet loss* pada BMSC

3.6.2.1 Probabilitas *Packet Loss* Pada *Node-Node* HSDPA

Probabilitas *packet loss* pada RAN (NodeB dan RNC), *core network* (SGSN dan GGSN) serta pada BMSC dapat dihitung dari probabilitas *Bit Error Rate* (BER) di jaringan tersebut, dengan persamaan berikut:

$$\rho_{node} = (l + l')\rho_b \quad (3.61)$$

dengan:

l = Panjang paket data (bit)

l' = Panjang *header* (bit)

ρ_b = *Bit Error Rate* (BER)

Persyaratan besarnya *Bit Error Rate* (BER) pada komunikasi satelit adalah sebagai berikut (Bruce R.Elbert, 54):

- Telepon digital (*voice*): 10^{-4}
- Transmisi data dengan *data rate* menengah: 10^{-7}
- Video digital: 10^{-8}

Karena *mobile TV* merupakan aplikasi video digital maka nilai BER yang digunakan untuk penghitungan probabilitas *packet loss* adalah sebesar 10^{-8} .

3.6.2.2 Probabilitas *Packet Loss* Pada *Air Interfaces*

Probabilitas *packet loss* pada *air interface* meliputi *uplink* dan *downlink* satelit, dan *air interface* HSDPA.

3.6.2.2.1 *Uplink*

Probabilitas *packet loss* pada *uplink* satelit ditentukan dengan parameter-parameter *link budget* pada Tabel 3.3.

1. Perhitungan Redaman Ruang Bebas (*Free Space Loss*)

Redaman ruang bebas adalah suatu redaman yang menyebabkan berkurangnya daya dari gelombang radio akibat jarak antara stasiun bumi dan satelit. Besarnya redaman ruang bebas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$FSL_u = 32,4 + 20\log r + 20\log f_u \quad (3.62)$$

dengan:

FSL_u = Redaman ruang bebas pada *uplink* (dB)

r = Jarak antara stasiun bumi dengan satelit (km)

f_u = Frekuensi *uplink* (MHz)

2. Perhitungan G/T

$$[G/T]_u = G - 10\log T \quad (3.63)$$

dengan:

$$[G/T]_u = \text{Figure of Merit satelit (dBK}^{-1}\text{)}$$

G = Gain antena Rx satelit (dB)

T = Noise temperatur sistem ($^{\circ}\text{K}$)

3. Perhitungan C/N_o

$$[C/N_o]_u = \text{EIRP} + [G/T]_u - \text{Losses} - 10 \log k \quad (3.64)$$

dengan:

$$[C/N_o]_u = \text{Carrier-to-noise density ratio pada uplink (dBHz)}$$

EIRP = Effective Isotropic Radiated Power (dBW)

$$[G/T]_u = \text{Figure of Merit satelit (dBK}^{-1}\text{)}$$

Losses = Redaman-redaman yang terjadi pada lintasan propagasi (dB)

k = Konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

4. Perhitungan E_b/N_o

Nilai E_b/N_o bergantung pada kecepatan informasi yang ditransmisikan.

Besarnya E_b/N_o dirumuskan sebagai:

$$[E_b/N_o]_u = [C/N_o]_u - 10 \log R_b \quad (3.65)$$

dengan:

$$[E_b/N_o]_u = \text{Energy per bit-to-noise density ratio pada uplink (dB)}$$

$$[C/N_o]_u = \text{Carrier-to-noise density ratio pada uplink (dBHz)}$$

R_b = Bit rate data (bps)

5. Probabilitas Error Pada Jalur Uplink Satelit

Probabilitas *error* pada secara umum sdapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \quad (3.66)$$

dan $Q(z)$ dapat dirumuskan sebagai (Leon W.Couch, 1995: 490):

$$Q(z) = \left[\frac{e^{-z^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0,339)z + 0,339\sqrt{z^2 + 5,51}} \right] \quad (3.67)$$

Probabilitas *packet loss* pada jalur *uplink* satelit dirumuskan sebagai:

$$\rho_u = 1 - (1 - P_e)^{l+l'} \tag{3.68}$$

dengan:

- P_e = Probabilitas *Bit Error Rate* pada jalur *uplink* satelit (BER)
- Q = *Complementary error function*
- E_b / N_o = *Energy bit-to-noise ratio* pada *uplink* satelit
- ρ_u = Probabilitas *packet loss* pada jalur *uplink* satelit
- l = Panjang paket data (bit)
- l' = Panjang header (bit)

Tabel 3.3 *Uplink Budget* Sistem SDMB

Kategori	Unit	Nilai
Frekuensi operasi	GHz	14,5
Jarak SDMB hub-satelit	km	35827,41
EIRP	dBW	70
Gain antena Rx satelit	dB	51
Noise temperatur sistem	°K	500
Redaman hujan dan atmosfer	dB	30
Redaman polarisasi	dB	1,5

Sumber: U. Mudugamuwa, 2004: 4

3.6.2.2.2 *Downlink* Satelit-UE

Probabilitas *packet loss* pada jalur *downlink* satelit-UE ditentukan dengan parameter-parameter *link budget* pada Tabel 3.4.

1. Perhitungan Redaman Ruang Bebas (*Free Space Loss*)

$$FSL_{dl} = 32,4 + 20\log r + 20\log f_{dl} \tag{3.69}$$

dengan:

- FSL_{dl} = Redaman ruang bebas pada *downlink* satelit-UE(dB)
- r = Jarak antara satelit dengan UE (km)
- f_{dl} = Frekuensi *downlink* satelit-UE (MHz)



2. Perhitungan Noise Temperatur

Noise temperatur pada *amplifier* penerima dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$T_e = (F - 1)T_o \quad (3.70)$$

dengan:

T_e = Noise temperatur pada LNA (°K)

F = Noise factor

T_o = Temperatur ruangan (290 °K)

Sedangkan noise temperatur total didapatkan melalui persamaan berikut:

$$T = T_{sys} + T_e + T_{ant} \quad (3.71)$$

dengan:

T = Noise temperatur total (°K)

T_{sys} = Noise temperatur sistem (°K)

T_e = Noise temperatur pada LNA (°K)

T_{ant} = Temperatur antenna (°K)

3. Perhitungan G/T

$$[G/T]_{UE} = G - 10 \log T \quad (3.72)$$

dengan:

$[G/T]_{UE}$ = Figure of Merit UE (dBK⁻¹)

G = Gain antenna UE (dB)

T = Noise temperatur total (°K)

4. Perhitungan C/No

$$[C/N_o]_{UE} = EIRP + [G/T]_{UE} - Losses - 10 \log k \quad (3.73)$$

dengan:

$[C/N_o]_{UE}$ = Carrier-to-noise density ratio pada downlink satelit-UE (dBHz)

$EIRP$ = Effective Isotropic Radiated Power (dBW)

$[G/T]_{UE}$ = Figure of Merit UE (dBK⁻¹)

$Losses$ = Redaman-redaman yang terjadi (dB)

k = Konstanta Boltzmann (1,38x10⁻²³ J/ K)

5. Perhitungan Eb/No

$$[E_b / N_o]_{UE} = [C / N_o]_{UE} - 10 \log Rb \quad (3.74)$$

dengan:

$[E_b / N_o]_{UE}$ = Energy per bit-to-noise density ratio pada downlink satelit-UE (dB)

$[C / N_o]_{UE}$ = Carrier-to-noise density ratio pada downlink satelit-UE (dBHz)

Rb = Bit rate data (bps)

6. Probabilitas Error Pada Jalur Downlink Satelit-UE

Probabilitas BER pada jalur downlink satelit-UE dapat dihitung dengan mengacu pada Persamaan (3.66) dan (3.67). Sedangkan probabilitas packet loss pada jalur downlink satelit-UE dirumuskan sebagai:

$$\rho_{dl} = 1 - (1 - P_e)^{l+l'} \quad (3.75)$$

dengan:

P_e = Probabilitas Bit Error Rate pada jalur downlink satelit-UE (BER)

ρ_{dl} = Probabilitas packet loss pada jalur downlink satelit-UE

l = Panjang paket data (bit)

l' = Panjang header (bit)

Tabel 3.4 Downlink Budget Sistem SDMB (Satelit-UE)

Kategori	Unit	Nilai
Frekuensi operasi	MHz	2617,5
Jarak satelit-UE	km	35898,79
EIRP	dBW	67
Gain antena Rx	dB	2,5
Noise figure LNA	dB	1,5
Noise temperatur sistem	°K	269,6
Temperatur antena	°K	150
Implement losses	dB	2

Sumber: Sang-Jin Lee, et al., 2007: 8



3.6.2.2.3 Downlink Satelit-IMR

Probabilitas *packet loss* pada jalur *downlink* satelit-IMR ditentukan dengan parameter-parameter *link budget* pada Tabel 3.5.

1. Perhitungan Redaman Ruang Bebas (*Free Space Loss*)

$$FSL_{d2} = 32,4 + 20\log r + 20\log f_{d2} \quad (3.76)$$

dengan:

FSL_{d2} = Redaman ruang bebas pada *downlink* satelit-IMR (dB)

r = Jarak antara satelit dengan IMR (km)

f_{d2} = Frekuensi *downlink* satelit-IMR (MHz)

2. Perhitungan G/T

$$[G/T]_{IMR} = G - 10\log T \quad (3.77)$$

dengan:

$[G/T]_{IMR}$ = *Figure of Merit* IMR (dBK⁻¹)

G = *Gain* antena IMR (dB)

T = Noise temperatur total (°K)

3. Perhitungan C/No

$$[C/N_o]_{IMR} = EIRP + [G/T]_{IMR} - Losses - 10\log k \quad (3.78)$$

dengan:

$[C/N_o]_{IMR}$ = *Carrier-to-noise density ratio* pada *downlink* satelit-IMR (dBHz)

$EIRP$ = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBW)

$[G/T]_{IMR}$ = *Figure of Merit* IMR (dBK⁻¹)

$Losses$ = Redaman-redaman yang terjadi (dB)

k = Konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

5. Perhitungan Eb/No

$$[E_b/N_o]_{IMR} = [C/N_o]_{IMR} - 10\log R_b \quad (3.79)$$

dengan:

$[E_b/N_o]_{IMR}$ = *Energy per bit-to-noise density ratio* pada *downlink* satelit-IMR (dB)

$[C/N_o]_{IMR}$ = *Carrier-to-noise density ratio* pada *downlink* satelit-IMR (dBHz)

R_b = Bit rate data (bps)

6. Probabilitas Error Pada Jalur Downlink Satelit-UE

Probabilitas BER pada jalur *downlink* satelit-UE dapat dihitung dengan mengacu pada Persamaan (3.66) dan (3.67). Sedangkan probabilitas *packet loss* pada jalur *downlink* satelit-UE dirumuskan sebagai:

$$\rho_{d2} = 1 - (1 - P_e)^{l+l'}$$
 (3.80)

dengan:

P_e = Probabilitas Bit Error Rate pada jalur *downlink* satelit-IMR (BER)

ρ_{d2} = Probabilitas *packet loss* pada jalur *downlink* satelit-IMR

l = Panjang paket data (bit)

l' = Panjang header (bit)

Tabel 3.5 Downlink Budget Sistem SDMB (Satelit-IMR)

Kategori	Unit	Nilai
Frekuensi operasi	GHz	12,2
Jarak satelit-IMR	km	35898,75
EIRP	dBW	75
Gain antena IMR	dB	18
Noise temperatur sistem	°K	500
Redaman polarisasi	dB	1,5

Sumber: Sang-Jin Lee, et al., 2007: 8

3.6.2.2.4 Air Interface HSDPA

Probabilitas *packet loss* pada *air interface* HSDPA ditentukan dengan parameter-parameter *link budget* pada Tabel 3.6.

1. Perhitungan Daya yang Diterima Kanal Trafik

$$P_{tr} = EIRP - L_p + G_{MS} - I_m$$
 (3.81)

dengan:

P_{tr} = Daya yang diterima kanal trafik (dBW)

- $EIRP$ = EIRP kanal trafik (dBW)
 L_p = Rugi-rugi propagasi (dB)
 G_{MS} = Gain antena mobile station (dB)
 I_m = Interference margin (dB)

2. Perhitungan Thermal Noise

$$N_o = 10 \log (290 \times 1,38.10^{-23}) + NF_{MS} + 40 \quad (3.82)$$

dengan:

- N_o = Thermal noise (dBm/Hz)
 Konstanta Boltzmann = $1,38.10^{-23}$ J/K
 NF_{MS} = Noise figure mobile station (dB)

3. Perhitungan Eb/No Kanal Trafik

$$[E_b / N_o]_{Tr} = P_{tr} - 10 \log R_b - 10 \log 10^{0,1N_o} \quad (3.83)$$

dengan:

- $[E_b / N_o]_{Tr}$ = Energy per bit-to-noise density ratio kanal trafik (dB)
 P_{tr} = Daya yang diterima kanal trafik (dBW)
 R_b = Bit rate data (bps)
 N_o = Thermal noise (dBm/Hz)

4. Probabilitas Error Kanal Trafik

Probabilitas BER pada kanal trafik HSDPA dapat dihitung dengan mengacu pada Persamaan (3.66) dan (3.67). Sedangkan probabilitas packet loss pada jalur downlink satelit-UE dirumuskan sebagai:

$$\rho_{tr} = 1 - (1 - P_e)^{l+l'} \quad (3.84)$$

dengan:

- P_e = Probabilitas Bit Error Rate pada kanal trafik HSDPA (BER)
 ρ_{tr} = Probabilitas packet loss pada kanal trafik
 l = Panjang paket data (bit)
 l' = Panjang header (bit)

Tabel 3.6 Link Budget Air Interface HSDPA

Kategori	Unit	Nilai
Frekuensi operasi	MHz	2642,5
Jarak IMR-UE	km	0,4
EIRP	dBW	57
Interference Margin	dB	9
Rugi-rugi lintasan propagasi	dB	126,36
Gain antena Rx	dB	0
Noise figure UE	dB	8
Implement losses	dB	3
Noise Power Spectral Density	dBW/Hz	-204,3

Sumber: Sang-Jin Lee, et al., 2007: 8 dan Linda Ekowati, 2008: 44

3.6.3 Throughput

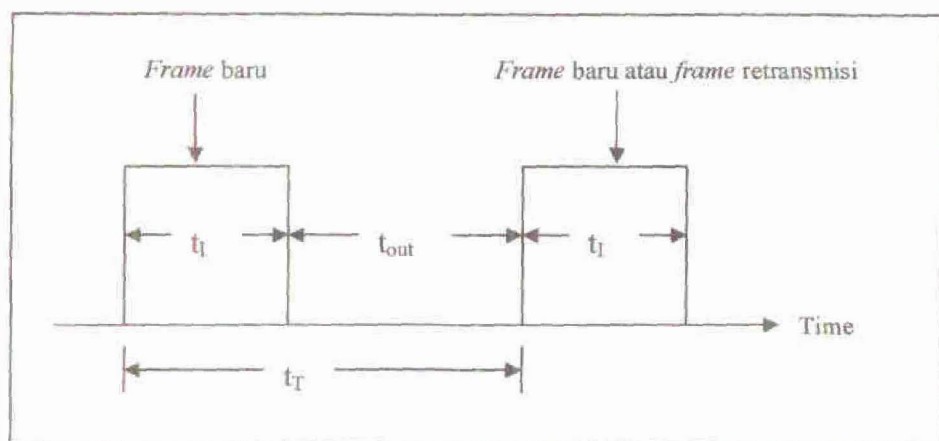
Throughput merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu total transmisi yang dibutuhkan dari sumber data ke penerima. Pengiriman data pada jaringan *packet switching* antara 2 stasiun yang melalui beberapa lapisan protokol mempunyai batas kemampuan kapasitas yang bisa dikeluarkan oleh jaringan tersebut. Hal ini dikenal dengan istilah *throughput*. Ilustrasi transmisi *frame* untuk analisis *throughput* ditampilkan dalam Gambar 3.12. Besarnya nilai *throughput* jaringan dapat dirumuskan (Mischa Schwartz, 1987:131):

$$\lambda = \frac{\text{jumlah paket data benar yang diterima}}{t_v} \quad (3.85)$$

dengan:

λ = Throughput (paket/detik)

t_v = Waktu total transmisi untuk mengirimkan paket data yang benar (detik)



Gambar 3.12 Transmisi *Frame* Untuk Analisis *Throughput*

Sumber: Mischa Schwartz, 1987: 125

Throughput yang didapat dengan memperhitungkan probabilitas *packet loss* (ρ) dan asumsi bahwa kondisi saturasi (selalu ada *frame* yang menunggu untuk ditransmisikan) dapat dihitung sesuai dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987: 129):

$$\lambda = \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho_{tot})}{t_l [1 + (\alpha - 1) \rho_{tot}]} \quad (3.86)$$

dengan:

A = *Throughput* (paket/detik)

t_l = Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah paket (detik)

α = Konstanta

ρ_{tot} = Probabilitas *packet loss* total/ *end-to-end*

dan:

$$t_T = t_l + t_{out} \quad (3.87)$$

dengan:

t_T = Waktu minimum untuk mengetahui sebuah paket berhasil ditransmisikan (detik)

t_{out} = Interval waktu antara pengiriman sebuah paket dengan pengiriman paket selanjutnya (detik)



Waktu transmisi *frame* ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:

132):

$$t_f = \frac{(Pl_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \quad (3.88)$$

dengan:

t_f = Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* (detik)

Pl_{frame} = *Payload frame* (detik)

H_{frame} = *Header frame* (byte)

C_{trans} = Kapasitas saluran transmisi (bps)

Waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge* adalah (Mischa Schwartz, 1987: 129):

$$t_{out} = 2t_p + 2t_f + t_{proc} \quad (3.89)$$

dengan:

t_{out} = Waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge* *fixed timeout interval* (detik)

t_p = *Delay propagasi* (detik)

t_f = Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* (detik)

t_{proc} = *Delay proses* (detik)

Dengan mengetahui nilai t_{out} dan t_f dapat dihitung parameter α (Mischa Schwartz, 1987: 129) dengan persamaan berikut:

$$\alpha = \frac{t_T}{t_f} = 1 + \frac{t_{out}}{t_f} \quad (3.90)$$

dengan:

α = Konstanta

t_f = Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* (detik)

t_T = Waktu total yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* (detik)

BAB IV

METODOLOGI

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis terhadap penerapan *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB) pada jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini terdiri atas empat metode, yaitu:

1. Studi Pustaka
2. Pengumpulan dan Penyusunan Data
3. Perhitungan dan Analisis Data
4. Pengambilan Kesimpulan

4.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan penerapan SDMB pada jaringan HSDPA. Studi pustaka yang dilakukan adalah mengenai aplikasi yang diterapkan yaitu *mobile TV*, karakteristik, parameter dan konfigurasi jaringan, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

4.2 Pengambilan Data

Data-data yang digunakan dalam kajian ini berupa data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari berbagai buku referensi, jurnal, *thesis*, dan *download* dari internet, khususnya yang berhubungan dengan SDMB dan HSDPA, yaitu:

1. Spesifikasi *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB)
2. Spesifikasi jaringan HSDPA

4.2.1 Spesifikasi SDMB

Data spesifikasi SDMB ini diperlukan untuk menganalisis proses aliran data pada tiap-tiap *layer*. Data-data yang digunakan dalam kajian ini meliputi:

- *Protocol stack* pada sistem SDMB
- Panjang *header* masing-masing protokol

- Spesifikasi satelit yang digunakan
- Parameter *link budget* satelit

4.2.2 Spesifikasi HSDPA

Data spesifikasi HSDPA diperlukan untuk menganalisis parameter jaringan yaitu *delay* jaringan, probabilitas *packet loss* dan *throughput*. Data-data yang digunakan dalam kajian ini meliputi:

- Konfigurasi jaringan WCDMA-HSDPA
- *Protocol stack* HSDPA
- Parameter *link budget* HSDPA

4.3. Perhitungan dan Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam skripsi ini adalah analisis *data*, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder, melakukan perhitungan untuk kemudian dianalisis berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan pada bagian sebelumnya. Analisis yang dilakukan meliputi:

- Perhitungan panjang paket data aplikasi *mobile TV* untuk sistem SDMB
- Perhitungan *delay end-to-end* penerapan SDMB pada jaringan HSDPA, baik untuk *direct link* maupun *indirect link*
- Perhitungan probabilitas *packet loss* total untuk *direct link* dan *indirect link*
- Perhitungan *throughput*

4.4 Pengambilan Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan mengenai penerapan SDMB pada jaringan HSDPA untuk aplikasi *mobile TV*.

BAB V

ANALISIS PENERAPAN SATELLITE DIGITAL MULTIMEDIA BROADCASTING (SDMB) PADA JARINGAN HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS (HSDPA)

Pada skripsi ini akan dibahas mengenai penerapan SDMB pada jaringan HSDPA untuk aplikasi *mobile* TV. Untuk itu ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar layanan *mobile* TV melalui SDMB ini dapat diterapkan pada jaringan HSDPA, yaitu:

- Perhitungan *delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, dan *delay* antrian
- Perhitungan probabilitas *packet loss*
- Perhitungan *throughput*

5.1 Paket Data Aplikasi *Mobile* TV

Aplikasi *mobile* TV pada *Satellite Digital Multimedia Broadcasting* (SDMB) menggunakan standar kompresi H.264/ AVC untuk video dan MPEG-2 AAC+ untuk audio. Berdasarkan Tabel 2.1, *payload* maksimum untuk H.264/ AVC adalah sebesar 254 byte sedangkan MPEG-2 AAC+ memiliki *payload* maksimum sebesar 80 byte. Sehingga besarnya paket data *mobile* TV pada *Broadcast Multicast Service Center* (BMSC) yang siap ditransmisikan, sesuai dengan Persamaan (2.1) yaitu:

$$\begin{aligned} W_{mob(BMSC)} &= PL + Header_{TS} + Header_{RS} \\ &= (254 + 80) + 4 + 16 \\ &= 354 \text{ byte} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 2.1 dan Persamaan (2.1), aplikasi *mobile* TV dengan menggunakan jenis CODEC AMR WB, AMR WB+, dan MPEG-2 AAC+ untuk CODEC audio dan H.264 untuk CODEC video, memiliki panjang paket data *mobile* TV seperti yang ditampilkan dalam Tabel 5.1 berikut.

5.2.1 Delay Penerapan Aplikasi Mobile TV

Delay aplikasi *mobile TV* adalah waktu yang dibutuhkan dalam pemrosesan sinyal *audio* dan *video* sehingga menjadi paket *mobile TV* yang siap untuk ditransmisikan. Delay aplikasi *mobile TV* merupakan *delay encoding* dan *decoding* yang dibutuhkan baik untuk *audio* maupun *video* untuk menghasilkan satu paket *mobile TV*. Karena aplikasi *mobile TV* pada sistem SDMB menggunakan standar H.264/ AVC untuk *video* dan HE-AAC v2 untuk *audio*, maka *delay CODEC* yang digunakan sesuai dengan yang tercantum dalam Tabel 2.1 yaitu sebesar 40 ms untuk *audio* dan 150 ms untuk *video*. Sehingga besarnya *delay CODEC* aplikasi *mobile TV* pada SDMB adalah sesuai Persamaan (2.2):

$$\begin{aligned}t_{CODEC} &= t_a + t_v \\&= 40 \text{ ms} + 150 \text{ ms} \\&= 190 \text{ ms}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk paket data 309 byte dan 320 byte masing-masing memiliki *delay CODEC* masing-masing sebesar 160 ms dan 170 ms.

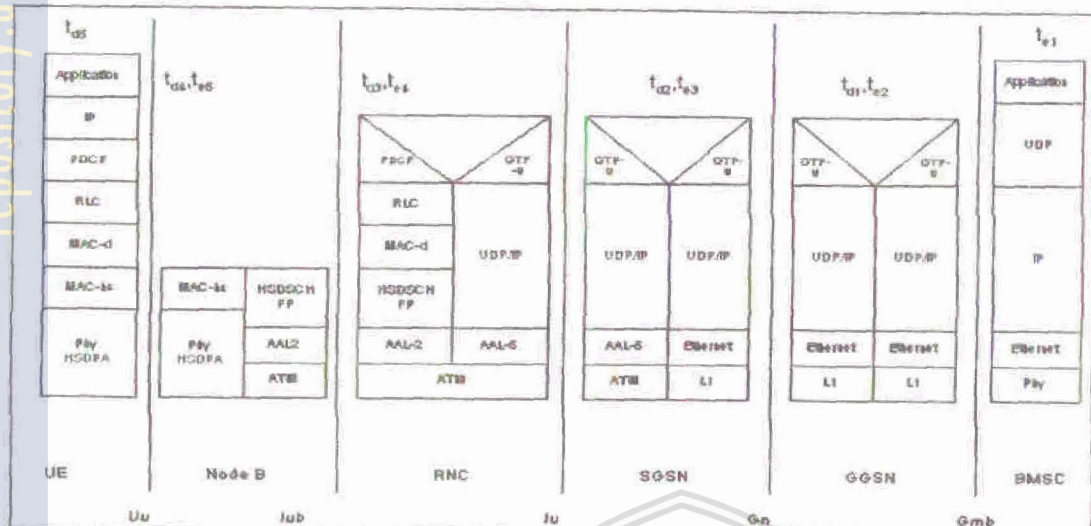
5.2.2 Delay End-to-end Jaringan HSDPA

Salah satu ukuran unjuk kerja jaringan data adalah *delay* yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuannya. Dalam jaringan berbasis *packet switching*, *delay* yang terjadi merupakan penjumlahan *delay-delay* yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuannya pada setiap *hop*. Pada jaringan HSDPA *delay* yang terjadi meliputi *delay proses*, *delay transmisi*, *delay propagasi* dan *delay antrian*.

5.2.2.1 Delay Proses

Delay proses untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA meliputi *delay enkapsulasi* dan *delay dekapsulasi*. Perhitungan *delay enkapsulasi* dan *dekapsulasi* melalui jaringan HSDPA berlaku untuk masing-masing *layer* seperti yang ditampilkan dalam Gambar 5.2, yaitu dengan cara menambahkan *header* dan perubahan format data mulai dari *Broadcast Multicast Service Center (BMSC)*,

hingga mencapai tujuan yaitu *User Equipment* (UE), baik melalui *direct link* maupun *indirect link*.



Gambar 5.2 Analisis Delay Proses Pada Jaringan HSDPA

Sumber: Analisis

Perhitungan *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi untuk setiap node sesuai dengan model jaringan adalah sebagai berikut:

5.2.2.1.1 Broadcast Multicast Service Center (BMSC)

Paket data aplikasi *mobile TV* sepanjang 354 byte dikirimkan ke *transport layer* pada BMSC. Karena *mobile TV* merupakan aplikasi *real time* maka pada *transport layer* ditambahkan *header UDP* sehingga diperoleh panjang segmen UDP sesuai dengan Persamaan (3.2) yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} W_{\text{segmen}} &= W_{\text{mob(BMSC)}} + \text{header}_{\text{UDP}} \\ &= 354 \text{ byte} + 8 \text{ byte} \\ &= 362 \text{ byte} \end{aligned}$$

Karena segmen UDP tidak melebihi *Maximum Segment Size* (MSS) IP maka akan langsung ditambahkan *header IP* sebesar 40 byte sehingga diperoleh panjang *datagram IP* sesuai dengan Persamaan (3.3) yaitu:

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram}} &= W_{\text{segmen}} + \text{header}_{\text{IP}} \\ &= 362 \text{ byte} + 40 \text{ byte} \\ &= 402 \text{ byte} \end{aligned}$$



Panjang *datagram* IP tidak melebihi *Maximum Transfer Unit* (MTU) *Ethernet* sehingga langsung ditambahkan dengan *header Ethernet* dan *Frame Check Sequence* (FCS) berdasarkan Persamaan (3.4) yaitu:

$$\begin{aligned} W_{frame\ BMSC} &= W_{datagram} + header_{Ethernet} + FCS \\ &= 402\ byte + 14\ byte + 4\ byte \\ &= 420\ byte \end{aligned}$$

Dalam skripsi ini pada BMSC digunakan standar *Gigabit Ethernet* dengan kecepatan 1 Gbps. Sehingga *delay* enkapsulasi pada BMSC yang terjadi didapatkan dengan persamaan (3.5) yaitu:

$$\begin{aligned} t_{E1} &= \frac{W_{frame\ BMSC}}{C_{BMSC}} \times 8 \\ &= \frac{420\ byte}{10^9\ bps} \times 8 \\ &= 3,36 \times 10^{-6}\ s \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* enkapsulasi pada BMSC untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte ditampilkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Analisis *Delay* Enkapsulasi Pada BMSC

No.	Panjang Paket Data Aplikasi <i>Mobile TV</i> (byte)	<i>Delay</i> Enkapsulasi $t_{E1}(s)$
1.	309	3.10^{-6}
2.	320	$3,12.10^{-6}$
3.	354	$3,36.10^{-6}$

Sumber: Perhitungan

5.2.2.1.2 Gateway GPRS Support Node (GGSN)

Pada GGSN paket data yang diterima dari BMSC mengalami proses dekapsulasi. Dari proses dekapsulasi didapatkan paket data aplikasi *mobile TV* sesuai dengan Persamaan (3.6) yaitu:

$$\begin{aligned} W_{mob(GGSN)} &= W_{frame\ BMSC} - header_{IP} - header_{UDP} - header_{ethernet} - FCS \\ &= 420\ byte - 40\ byte - 8\ byte - 14\ byte - 4\ byte \\ &= 354\ byte \end{aligned}$$

Dengan mengasumsikan GGSN menggunakan standar *Fast Ethernet* dengan kecepatan 100 Mbps, maka besarnya *delay* dekapsulasi pada GGSN dapat ditentukan sesuai dengan Persamaan (3.7):

$$\begin{aligned} t_{D1} &= \frac{W_{mob(GGSN)}}{C_{GGSN}} \times 8 \\ &= \frac{354 \text{ byte}}{10^2 \cdot 10^6 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 2,832 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

Selanjutnya paket data aplikasi *mobile* TV dienkapsulasi dengan penambahan *header* GTP, UDP, IP, *Ethernet* serta FCS sesuai Persamaan (3.8) yaitu:

$$\begin{aligned} W_{frameGGSN} &= W_{mob(GGSN)} + \text{header}_{GTP} + \text{header}_{IP} + \text{header}_{UDP} + \text{header}_{ethernet} + FCS \\ &= 354 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 40 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 14 \text{ byte} + 4 \text{ byte} \\ &= 428 \text{ byte} \end{aligned}$$

Nilai *delay* enkapsulasi yang terjadi pada GGSN didapatkan melalui Persamaan (3.9) yaitu:

$$\begin{aligned} t_{E2} &= \frac{W_{frameGGSN}}{C_{GGSN}} \times 8 \\ &= \frac{428 \text{ byte}}{10^2 \cdot 10^6 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 3,424 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi pada GGSN untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte ditampilkan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Analisis *Delay* Dekapsulasi dan Enkapsulasi Pada GGSN

No	Panjang Paket Data Aplikasi <i>Mobile</i> TV (byte)	<i>Delay</i> Dekapsulasi t_{D1} (s)	<i>Delay</i> Enkapsulasi t_{E2} (s)
1.	309	$2,472 \cdot 10^{-5}$	$3,784 \cdot 10^{-5}$
2.	320	$2,56 \cdot 10^{-5}$	$3,152 \cdot 10^{-5}$
3.	354	$2,832 \cdot 10^{-5}$	$3,424 \cdot 10^{-5}$

Sumber: Perhitungan

5.2.2.1.3 Serving GPRS Support Node (SGSN)

Paket data yang diterima dari GGSN mengalami proses dekapsulasi pada SGSN sesuai dengan Persamaan (3.10):

$$\begin{aligned} W_{mob(SGSN)} &= W_{frameGGSN} - header_{GTP} - header_{IP} - header_{UDP} - header_{ethernet} - FCS \\ &= 428 \text{ byte} - 8 \text{ byte} - 40 \text{ byte} - 8 \text{ byte} - 14 \text{ byte} - 4 \text{ byte} \\ &= 354 \text{ byte} \end{aligned}$$

Dalam analisis ini diasumsikan menggunakan Nokia 3G-SGSN yang menggunakan standar *Fast Ethernet* 100 Base-Fx dengan kecepatan data 100 Mbps. Dengan demikian didapatkan *delay* dekapsulasi pada SGSN sesuai Persamaan (3.11) yaitu:

$$\begin{aligned} t_{D2} &= \frac{W_{mob(SGSN)}}{C_{SGSN}} \times 8 \\ &= \frac{354 \text{ byte}}{10^2 \cdot 10^6 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 2,832 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

Selanjutnya paket data aplikasi *mobile* TV ditambahkan *header* GTP, UDP dan IP. Saat memasuki lapisan AAL5, paket data tersebut dibentuk menjadi CPCS PDU (*Common Part Convergence Sublayer Protocol Data Unit*) dengan penambahan *header* AAL5 seperti pada Persamaan (3.12):

$$\begin{aligned} W_{frame AAL5} &= W_{mob(SGSN)} + header_{GTP} + header_{IP} + header_{UDP} + header_{AAL5} \\ &= 354 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 40 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 8 \text{ byte} \\ &= 418 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada *layer* ATM, *frame* AAL5 dipecah menjadi blok-blok *payload* PDU SAR (*Segmentation and Reassembly Sublayer*) sebesar 48 byte. Sehingga banyaknya sel ATM yang terbentuk sesuai Persamaan (3.13) yaitu:

$$\begin{aligned} N_{frame ATM} &= \frac{W_{frame AAL5}}{48 \text{ byte}} \\ &= \frac{418 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} \\ &= 8,70833 \end{aligned}$$

Terdapat 8 *frame* berisi data 48 byte dan 1 *frame* berisi data sebesar $(0,70833 \times 48 \text{ byte} = 34 \text{ byte})$. *Frame* yang berisi data 34 byte tersebut akan diberi *padding bytes* sebesar $(48 \text{ byte} - 34 \text{ byte} = 14 \text{ byte})$, sehingga terdapat 9 sel ATM. Setiap sel ATM selanjutnya diberi *header* sebesar 5 byte sehingga panjangnya menjadi 53 byte. Panjang *frame* SGSN yang siap ditransmisikan menuju RNC merupakan panjang *frame* ATM total sesuai Persamaan (3.14) yaitu:

$$\begin{aligned} W_{frame\ SGSN} &= W_{frame\ ATM\ total} = N_{frame\ ATM} \times W_{frame\ ATM} \\ &= 9 \times 53 \text{ byte} \\ &= 477 \text{ byte} \end{aligned}$$

Delay enkapsulasi yang terjadi pada SGSN diperoleh dari Persamaan (3.15) yaitu:

$$\begin{aligned} t_{E3} &= \frac{W_{frame\ SGSN}}{C_{SGSN-RNC}} \times 8 \\ &= \frac{477 \text{ byte}}{155,52.10^6 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 2,454 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi pada SGSN untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte ditampilkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Analisis *Delay* Dekapsulasi dan Enkapsulasi Pada SGSN

No.	Panjang Paket Data Aplikasi <i>Mobile TV</i> (byte)	<i>Delay</i> Dekapsulasi t_{D2} (s)	<i>Delay</i> Enkapsulasi t_{E3} (s)
1.	309	$2,472.10^{-5}$	$2,181.10^{-5}$
2.	320	$2,56.10^{-5}$	$2,181.10^{-5}$
3.	354	$2,832.10^{-5}$	$2,454.10^{-5}$

Sumber: Perhitungan

5.2.2.1.4 Radio Network Controller (RNC)

Paket data yang diterima dari SGSN akan didekapsulasi pada RNC. Proses dekapsulasi tersebut sesuai dengan Persamaan (3.16) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{mob(RNC)} &= W_{frameSGSN} - header_{ATM} - header_{GTP} - header_{IP} - header_{UDP} - header_{AAL5} \\
 &= 477 \text{ byte} - 5 \text{ byte} - 8 \text{ byte} - 40 \text{ byte} - 8 \text{ byte} - 8 \text{ byte} \\
 &= 408 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

RNC menggunakan *interface* sistem transmisi ATM/ STM-1 yang memberikan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps. Nilai *delay* dekapulasi yang terjadi pada RNC diberikan oleh Persamaan (3.17) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{D3} &= \frac{W_{mob(RNC)}}{C_{RNC}} \times 8 \\
 &= \frac{408 \text{ byte}}{155,52 \cdot 10^6 \text{ bps}} \times 8 \\
 &= 2,099 \times 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya paket data aplikasi dienkapsulasi pada *layer* PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) dengan diberi *header* PDCP sebesar 1 byte sesuai Persamaan (3.18):

$$\begin{aligned}
 W_{framePDCP} &= W_{mob(RNC)} + header_{PDCP} \\
 &= 408 \text{ byte} + 1 \text{ byte} \\
 &= 409 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Pada *layer* RLC, *frame* PDCP disegmentasi menjadi RLC PDU *fixed size* sebesar 40 byte. Sehingga jumlah *frame* RLC sesuai dengan Persamaan (3.19) yaitu:

$$\begin{aligned}
 N_{frameRLC} &= \frac{W_{framePDCP}}{40 \text{ byte}} \\
 &= \frac{409 \text{ byte}}{40 \text{ byte}} \\
 &= 10,225
 \end{aligned}$$

Terdapat 10 *frame* RLC dengan panjang masing-masing 40 byte serta sebuah *frame* RLC berisi data sebesar $(0,225 \times 40 \text{ byte} = 9 \text{ byte})$. *Frame* yang berisi data 9 byte tersebut kemudian diberi *padding bytes* sebesar $(40 \text{ byte} - 9 \text{ byte} = 31 \text{ byte})$, sehingga terdapat 11 *frame* RLC. Setiap *frame* selanjutnya diberi *header* sebesar 2 byte sehingga panjangnya menjadi 42 byte. Sehingga panjang *frame* RLC total yang siap diteruskan ke *layer* MAC-d sesuai Persamaan (3.20):



$$\begin{aligned}
 W_{frame\ RLC\ total} &= N_{frame\ RLC} \times W_{frame\ RLC} \\
 &= 11 \times 42\ byte \\
 &= 462\ byte
 \end{aligned}$$

Pada layer MAC-d, RLC PDU disegmentasi menjadi MAC-d SDU (*Service Data Unit*) sebesar 42 byte. Jumlah frame MAC-d SDU diberikan oleh Persamaan (3.21) yaitu:

$$\begin{aligned}
 N_{frame\ MAC-d} &= \frac{W_{frame\ RLC\ total}}{42\ byte} \\
 &= \frac{462\ byte}{42\ byte} \\
 &= 11
 \end{aligned}$$

Sedangkan panjang frame MAC-d dihitung dengan Persamaan (3.22):

$$\begin{aligned}
 W_{frame\ MAC-d} &= header_{MAC} + 42\ byte \\
 &= 3\ byte + 42\ byte \\
 &= 45\ byte
 \end{aligned}$$

Frame MAC-d kemudian dienkapsulasi pada HS-DSCH FP (*Frame Protocol*) dengan penambahan header FP dan CRC sesuai Persamaan (3.23):

$$\begin{aligned}
 W_{frame\ FP} &= W_{frame\ MAC-d} + header_{FP} + CRC \\
 &= 45\ byte + 7\ byte + 2\ byte \\
 &= 54\ byte
 \end{aligned}$$

Panjang frame HS-DSCH FP total diperoleh dengan Persamaan (3.24) yaitu:

$$\begin{aligned}
 W_{frame\ FP\ total} &= N_{frame\ MAC-d} \times W_{frame\ FP} \\
 &= 11 \times 54\ byte \\
 &= 594\ byte
 \end{aligned}$$

Saat memasuki layer AAL2, paket data dibentuk menjadi paket CPS (*Common Part Sublayer*) dengan penambahan header sebesar 3 byte sehingga panjang frame diperoleh sesuai Persamaan (3.25):

$$\begin{aligned}
 W_{frame\ AAL2} &= W_{frame\ FP\ total} + header_{AAL2} \\
 &= 594\ byte + 3\ byte \\
 &= 597\ byte
 \end{aligned}$$

Frame AAL2 tersebut dipecah menjadi blok-blok *payload* PDU SAR (*Segmentation and Reassembly Sublayer*) sebesar 48 byte sesuai sel ATM tunggal. Sehingga banyaknya sel ATM yang terbentuk sesuai dengan Persamaan (3.26):

$$\begin{aligned} N_{frame\ ATM\ 2} &= \frac{W_{frame\ AAL2}}{48\ byte} \\ &= \frac{597\ byte}{48\ byte} \\ &= 12,4375 \end{aligned}$$

Terdapat 12 *frame* berisi data 48 byte dan 1 *frame* berisi data sebesar $(0,4375 \times 48\ byte = 21\ byte)$. *Frame* yang berisi data 21 byte tersebut akan diberi *padding bytes* sebesar $(48\ byte - 21\ byte = 27\ byte)$, sehingga terdapat 13 sel ATM. Setiap sel ATM selanjutnya diberi *header* sebesar 5 byte sehingga panjangnya menjadi 53 byte. Sehingga panjang *frame* di RNC yang siap ditransmisikan merupakan panjang *frame* ATM total sesuai Persamaan (3.27) yaitu:

$$\begin{aligned} W_{frame\ RNC} &= W_{frame\ ATM2\ total} = N_{frame\ ATM2} \times W_{frame\ ATM} \\ &= 13 \times 53\ byte \\ &= 689\ byte \end{aligned}$$

Besarnya *delay* enkapsulasi yang terjadi di RNC diberikan oleh Persamaan (3.28):

$$\begin{aligned} t_{E4} &= \frac{W_{frame\ RNC}}{C_{RNC}} \times 8 \\ &= \frac{689\ byte}{155,52 \cdot 10^6\ bps} \times 8 \\ &= 3,544 \times 10^{-5}\ s \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi pada RNC untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte ditampilkan dalam Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Analisis *Delay* Dekapsulasi dan Enkapsulasi Pada RNC

No.	Panjang Paket Data Aplikasi <i>Mobile TV</i> (byte)	<i>Delay</i> Dekapsulasi t_{D3} (s)	<i>Delay</i> Enkapsulasi t_{E4} (s)
1.	309	$1,826.10^{-5}$	3.10^{-5}
2.	320	$1,826.10^{-5}$	3.10^{-5}
3.	354	$2,099.10^{-5}$	$3,544.10^{-5}$

Sumber: Perhitungan

5.2.2.1.5 Node B

Pada Node B paket data yang diterima dari RNC didekapsulasi sehingga didapatkan paket aplikasi *mobile TV* sesuai dengan Persamaan (3.29) yaitu:

$$\begin{aligned}
 W_{mob(NodeB)} &= W_{frameRNC} - header_{ATM} - header_{AAL2} - header_{FP} - CRC \\
 &= 689\text{ byte} - 5\text{ byte} - 3\text{ byte} - 7\text{ byte} - 2\text{ byte} \\
 &= 672\text{ byte}
 \end{aligned}$$

Node B menggunakan *interface* sistem transmisi STM-1 dengan kecepatan 155,52 Mbps. Maka besarnya *delay* dekapsulasi yang terjadi pada Node B adalah sesuai dengan Persamaan (3.30):

$$\begin{aligned}
 t_{D4} &= \frac{W_{mob(NodeB)}}{C_{NodeB}} \times 8 \\
 &= \frac{672\text{ byte}}{155,52.10^6\text{ bps}} \times 8 \\
 &= 3,457 \times 10^{-5}\text{ s}
 \end{aligned}$$

Pada saat memasuki *layer* MAC-hs, paket data disegmentasi menjadi paket sebesar 42 byte. Jumlah *frame* MAC-hs sesuai dengan Persamaan (3.31) yaitu:

$$\begin{aligned}
 N_{frame\ MAC-hs} &= \frac{W_{mob(NodeB)}}{42\text{ byte}} \\
 &= \frac{672\text{ byte}}{42\text{ byte}} \\
 &= 16
 \end{aligned}$$

Panjang *frame* MAC-hs dapat dihitung berdasarkan Persamaan (3.32):

$$\begin{aligned} W_{frame\ MAC-hs} &= header_{MAC} + 42\ byte \\ &= 3\ byte + 42\ byte \\ &= 45\ byte \end{aligned}$$

Sehingga panjang *frame* pada Node B total adalah sesuai dengan Persamaan (3.33):

$$\begin{aligned} W_{frame\ NodeB} &= N_{frame\ MAC-hs} \times W_{frame\ MAC-hs} \\ &= 16 \times 45\ byte \\ &= 720\ byte \end{aligned}$$

Dengan menggunakan Persamaan (3.34) maka diperoleh nilai *delay* enkapsulasi pada Node B sebesar:

$$\begin{aligned} t_{L5} &= \frac{W_{frame\ NodeB}}{C_{NodeB}} \times 8 \\ &= \frac{720\ byte}{155,52 \cdot 10^6\ bps} \times 8 \\ &= 3,704 \times 10^{-5}\ s \end{aligned}$$

Dengan cara tersebut maka dapat dihitung nilai *delay* dekapsulasi dan enkapsulasi yang terjadi pada Node B untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte seperti yang ditampilkan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Analisis Delay Dekapsulasi dan Enkapsulasi Pada Node B

No.	Panjang Paket Data Aplikasi Mobile TV (byte)	Delay Dekapsulasi t _{D4} (s)	Delay Enkapsulasi t _{E5} (s)
1.	309	2,912.10 ⁻⁵	3,241.10 ⁻⁵
2.	320	2,912.10 ⁻⁵	3,241 .10 ⁻⁵
3.	354	3,457.10 ⁻⁵	3,704.10 ⁻⁵

Sumber: Perhitungan

5.2.2.1.6 User Equipment (UE)

Proses dekapsulasi pada UE terjadi sesuai Persamaan (3.35) yaitu:

$$\begin{aligned} W_{mob(UE)} &= W_{frameNodeB} - header_{PDCP} - header_{RLC} - header_{MAC} \\ &= 720\ byte - 1\ byte - 2\ byte - 3\ byte \\ &= 714\ byte \end{aligned}$$

Dengan mengasumsikan terminal pengguna adalah terminal kategori 5 sesuai Tabel 3.1 dengan *data rate* maksimum sebesar 3,6 Mbps, maka besarnya *delay* dekapsulasi yang terjadi di UE dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.36):

$$\begin{aligned} t_{D5} &= \frac{W_{mob(UE)}}{C_{UE}} \times 8 \\ &= \frac{714 \text{ byte}}{3,6 \cdot 10^6 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 1,587 \times 10^{-3} \text{ s} \\ &= 1,587 \text{ ms} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan *delay* dekapsulasi pada UE untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte ditampilkan dalam tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Analisis *Delay* Dekapsulasi Pada UE

No.	Panjang Paket Data Aplikasi <i>Mobile TV</i> (byte)	<i>Delay</i> Dekapsulasi t_{D5} (s)
1.	309	$1,387 \cdot 10^{-3}$
2.	320	$1,387 \cdot 10^{-3}$
3.	354	$1,587 \cdot 10^{-3}$

Sumber: Perhitungan

5.2.2.1.7 *Delay* Proses Total

Besarnya *delay* proses merupakan penjumlahan *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi pada setiap *node*, sesuai dengan Persamaan (3.37) yaitu:

$$\begin{aligned} t_{Etotal} &= t_{E1} + t_{E2} + t_{E3} + t_{E4} + t_{E5} \\ &= (3,36 \cdot 10^{-6} + 3,424 \cdot 10^{-5} + 2,454 \cdot 10^{-5} + 3,544 \cdot 10^{-5} + 3,704 \cdot 10^{-5}) \text{ s} \\ &= 1,3462 \cdot 10^{-4} \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{Dtotal} &= t_{D1} + t_{D2} + t_{D3} + t_{D4} + t_{D5} \\ &= (2,832 \cdot 10^{-5} + 2,832 \cdot 10^{-5} + 2,099 \cdot 10^{-5} + 3,457 \cdot 10^{-5} + 1,587 \cdot 10^{-3}) \text{ s} \\ &= 1,6992 \cdot 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

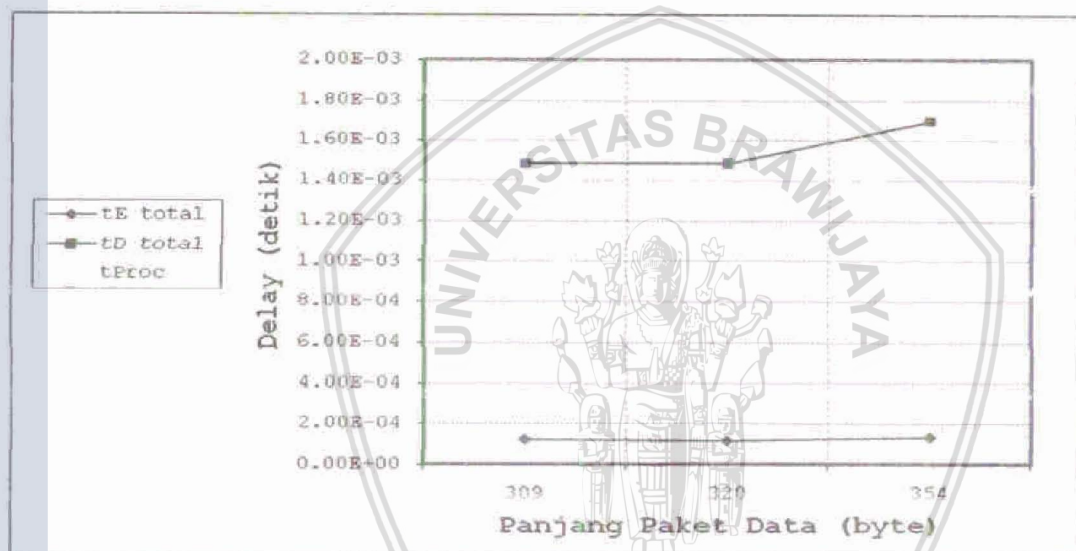
$$\begin{aligned} t_{proc} &= t_{Etotal} + t_{Dtotal} \\ &= (1,3462 \cdot 10^{-4} + 1,6992 \cdot 10^{-3}) \text{ s} \\ &= 1,83382 \cdot 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *delay* proses untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.8. Sedangkan hubungan *delay* proses terhadap panjang paket data *mobile TV* ditampilkan dalam Gambar 5.3.

Tabel 5.8 Hasil Analisis *Delay* Proses Total

No.	Panjang Paket Data Aplikasi <i>Mobile TV</i> (byte)	t_{Etotal} (s)	t_{Dtotal} (s)	t_{proc} (s)
1.	309	$1,2506.10^{-4}$	$1,48382.10^{-3}$	$1,60888. 10^{-3}$
2.	320	$1,1886.10^{-4}$	$1,48558.10^{-3}$	$1,60444. 10^{-3}$
3.	354	$1,3462.10^{-4}$	$1,6992.10^{-3}$	$1,83382.10^{-3}$

Sumber: Perhitungan



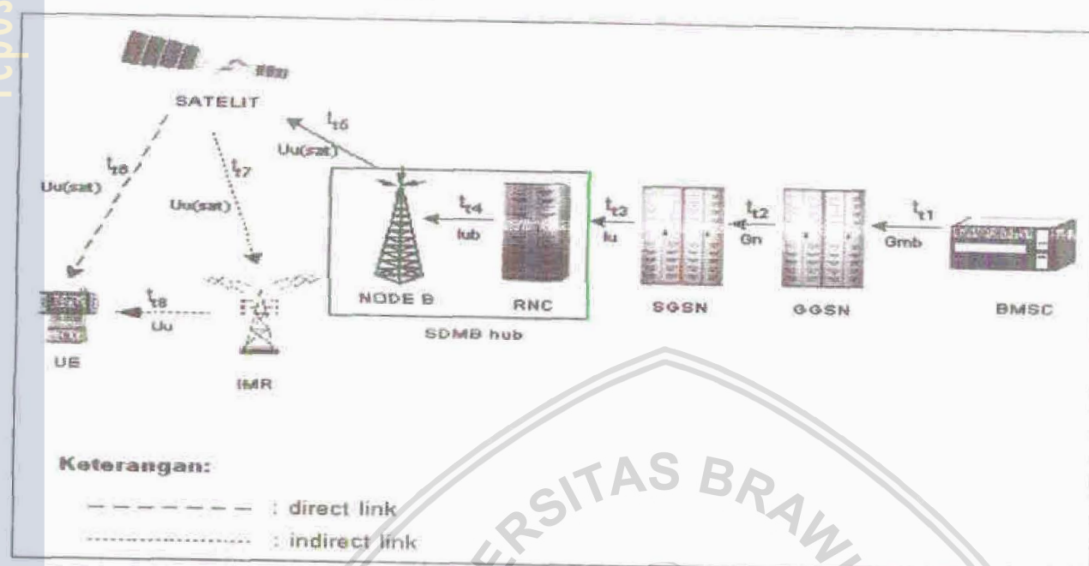
Gambar 5.3 Hubungan *Delay* Proses Terhadap Panjang Paket Data *Mobile TV*

Sumber: Perhitungan

5.2.2.2 Delay Transmisi

Dalam analisis ini dilakukan perhitungan *delay* transmisi pada jalur *direct link* dan *indirect link*. *Delay* transmisi pada jalur *direct link* meliputi hubungan antara BMSC-GGSN (*Gmb interface*), GGSN-SGSN (*Gn interface*), SGSN-RNC (*Iu interface*), RNC-Node B (*Iub interface*), Node B-Satelit (*Uu(sat) interface*), dan

Satelit-UE (*Uu(sat) interface*). Sedangkan untuk *indirect link* meliputi hubungan antara BMSC-GGSN (*Gmb interface*), GGSN-SGSN (*Gn interface*), SGSN-RNC (*Iu interface*), RNC-Node B (*Iub interface*), Node B-Satelit (*Uu(sat) interface*), Satelit-IMR (*Uu(sat) interface*) dan IMR-UE (*Uu interface*). Proses analisis *delay* transmisi diilustrasikan dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Analisis *Delay* Transmisi Penerapan SDMB Pada Jaringan HSDPA

Sumber: Analisis

5.2.2.2.1 BMSC-GGSN (*Gmb Interface*)

BMSC dan GGSN diasumsikan dihubungkan dengan *interface Gigabit Ethernet* dengan kecepatan 1 Gbps. Sehingga nilai *delay* transmisi pada *Gmb interface* dengan mengacu pada Persamaan (3.39) adalah:

$$\begin{aligned}
 t_{t1} &= \frac{W_{frame\ BMSC}}{C_{eth}} \times 8 \\
 &= \frac{420\ byte}{10^9\ bps} \times 8 \\
 &= 3,36 \times 10^{-6}\ s
 \end{aligned}$$

5.2.2.2.2 GGSN-SGSN (*Gn Interface*)

Hubungan antara GGSN dan SGSN menggunakan *Fast Ethernet* dengan kecepatan transmisi data sebesar 100 Mbps. Besarnya *delay* transmisi yang terjadi adalah sesuai Persamaan (3.40) yaitu:



$$\begin{aligned}
 t_{T2} &= \frac{W_{frame\ GGSN}}{C_{eth}} \times 8 \\
 &= \frac{428\ byte}{10^2 \cdot 10^6\ bps} \times 8 \\
 &= 3,424 \times 10^{-5}\ s
 \end{aligned}$$

5.2.2.2.3 SGSN-RNC (Iu Interface)

Iu interface yang menghubungkan antara SGSN dan RNC menggunakan interface sistem transmisi digital STM-1 yang memberikan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps. Sehingga nilai *delay* transmisinya didapatkan sesuai Persamaan (3.41) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{T3} &= \frac{W_{frame\ SGSN}}{C_{ATM}} \times 8 \\
 &= \frac{477\ byte}{155,52 \cdot 10^6\ bps} \times 8 \\
 &= 2,454 \times 10^{-5}\ s
 \end{aligned}$$

5.2.2.2.4 RNC-Node B (Iub Interface)

RNC dan Node B dihubungkan dengan Iub interface yang merupakan sistem transmisi digital STM-1 dengan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps. Besarnya *delay* transmisi yang terjadi pada hubungan antara RNC dan Node B adalah mengacu pada Persamaan (3.42) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{T4} &= \frac{W_{frame\ RNC}}{C_{ATM}} \times 8 \\
 &= \frac{689\ byte}{155,52 \cdot 10^6\ bps} \times 8 \\
 &= 3,544 \times 10^{-5}\ s
 \end{aligned}$$

5.2.2.2.5 SDMB hub-Satelit (Uu (sat) Interface)

Hubungan antara SDMB hub dan satelit menggunakan pita Ku-band yang memiliki kecepatan data untuk *uplink* sebesar 40 Mbps. Besarnya *delay* transmisi yang terjadi pada hubungan antara SDMB hub dan satelit sesuai Persamaan (3.43) adalah:

$$\begin{aligned}
 t_{T5} &= \frac{W_{frame\ NodeB}}{C_{sat(ku)}} \times 8 \\
 &= \frac{720\ byte}{40 \cdot 10^6\ bps} \times 8 \\
 &= 1,44 \times 10^{-4}\ s
 \end{aligned}$$

5.2.2.2.6 Satelit-UE (Uu (sat) Interface)

Hubungan antara satelit dan UE menggunakan pita S-band yang memiliki kecepatan data untuk *downlink* sebesar 7,68 Mbps. Delay transmisi yang terjadi pada hubungan antara satelit dan UE dengan mengacu pada Persamaan (3.44) adalah:

$$\begin{aligned}
 t_{T6} &= \frac{W_{frame\ NodeB}}{C_{sat(s)}} \times 8 \\
 &= \frac{720\ byte}{7,68 \cdot 10^6\ bps} \times 8 \\
 &= 7,5 \times 10^{-4}\ s
 \end{aligned}$$

5.2.2.2.7 Satelit-IMR (Uu (sat) Interface)

Hubungan antara satelit dan IMR menggunakan pita Ku-band yang menyediakan kecepatan data *downlink* sebesar 80 Mbps. Delay transmisi yang terjadi pada hubungan antara satelit dan IMR sesuai Persamaan (3.45) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{T7} &= \frac{W_{frame\ NodeB}}{C_{sat(ku)}} \times 8 \\
 &= \frac{720\ byte}{80 \cdot 10^6\ bps} \times 8 \\
 &= 7,2 \times 10^{-5}\ s
 \end{aligned}$$

5.2.2.2.8 IMR-UE (Uu Interface)

Delay transmisi yang terjadi pada Uu interface bergantung pada data rate UE serta jumlah slot. Terminal pengguna diasumsikan memiliki data rate maksimum sebesar 3,6 Mbps. Jumlah slot pada air interface HSDPA adalah sebanyak 3 slot. Sehingga delay transmisi pada Uu interface dengan mengacu pada Persamaan (3.45) adalah:

$$\begin{aligned}
 t_{T8} &= \frac{W_{frame\ NodeB}}{n \times C_{UE}} \times 8 \\
 &= \frac{720\text{ byte}}{3 \times (3,6 \cdot 10^6)} \times 8 \\
 &= 5,333 \times 10^{-4} s
 \end{aligned}$$

5.2.2.2.9 Delay Transmisi Total

Delay transmisi total yang terjadi untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA untuk *direct link* dapat ditentukan menurut Persamaan (3.47) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{T(direct)total} &= t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{TE4} + t_{T5} + t_{T6} \\
 &= (3,36 \cdot 10^{-6} + 3,424 \cdot 10^{-5} + 2,454 \cdot 10^{-5} + 3,544 \cdot 10^{-5} + 1,44 \cdot 10^{-4} + 7,5 \cdot 10^{-4}) s \\
 &= 9,9158 \times 10^{-4} s
 \end{aligned}$$

Delay transmisi total untuk *indirect link* diperoleh dari Persamaan (3.48) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{T(indirect)total} &= t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{TE4} + t_{T5} + t_{T7} + t_{T8} \\
 &= (3,36 \cdot 10^{-6} + 3,424 \cdot 10^{-5} + 2,454 \cdot 10^{-5} + 3,544 \cdot 10^{-5} + 1,44 \cdot 10^{-4} + 7,2 \cdot 10^{-5} + 5,333 \cdot 10^{-4}) s \\
 &= 8,4688 \times 10^{-4} s
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *delay* transmisi total untuk paket data 309 byte dan 320 byte, baik untuk *direct link* maupun *indirect link*. Hasil tersebut ditunjukkan dalam Tabel 5.9. Sedangkan hubungan *delay* transmisi terhadap panjang paket data *mobile* TV ditampilkan dalam Gambar 5.5.

Tabel 5.9 Hasil Analisis *Delay* Transmisi

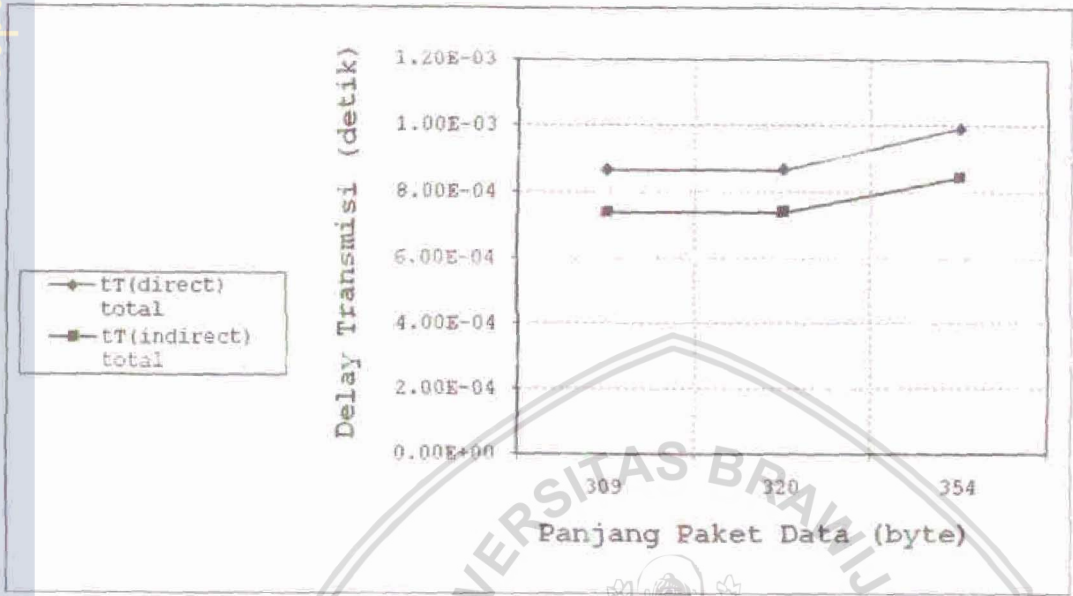
Delay Transmisi (s)	Panjang Paket Data (byte)		
	309	320	354
t_{T1}	$3 \cdot 10^{-6}$	$3,12 \cdot 10^{-6}$	$3,36 \cdot 10^{-6}$
t_{T2}	$3,064 \cdot 10^{-5}$	$3,152 \cdot 10^{-5}$	$3,424 \cdot 10^{-5}$
t_{T3}	$2,181 \cdot 10^{-5}$	$2,181 \cdot 10^{-5}$	$2,454 \cdot 10^{-5}$
t_{T4}	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$3,544 \cdot 10^{-5}$
t_{T5}	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$1,26 \cdot 10^{-4}$	$1,44 \cdot 10^{-4}$
t_{T6}	$6,5625 \cdot 10^{-4}$	$6,5625 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-4}$
t_{T7}	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$
t_{T8}	$4,67 \cdot 10^{-4}$	$4,67 \cdot 10^{-4}$	$5,333 \cdot 10^{-4}$



Lanjutan Tabel 5.9 Hasil Analisis Delay Transmisi

$t_{T(direct)total}$	$8,677.10^{-4}$	$8,687.10^{-4}$	$9,9158.10^{-4}$
$t_{T(indirect)total}$	$7,4145.10^{-4}$	$7,4245.10^{-4}$	$8,4688.10^{-4}$

Sumber: Perhitungan

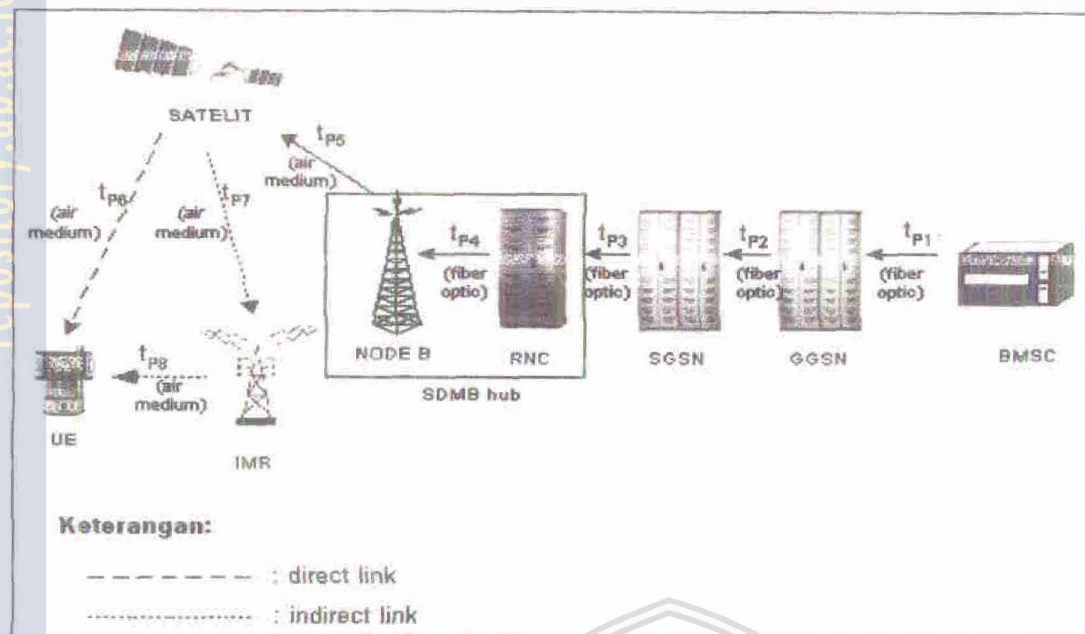


Gambar 5.5 Hubungan Delay Transmisi Terhadap Panjang Paket Data Mobile TV

Sumber: Perhitungan

5.2.2.3 Delay Propagasi

Dalam analisis ini dilakukan perhitungan *delay* propagasi pada jalur *direct link* dan *indirect link*. *Delay* propagasi pada jalur *direct link* meliputi hubungan antara BMSC-GGSN-SGSN-RNC-Node B-Satelit-UE. Sedangkan untuk *indirect link* meliputi hubungan antara BMSC-GGSN-SGSN-RNC-Node B-Satelit-IMR-UE. Hubungan antara BMSC sampai dengan Node B menggunakan media *fiber optic*, sedangkan hubungan antara Node B-satelit, satelit-UE, satelit-IMR, maupun IMR-UE menggunakan media udara. Proses analisis *delay* propagasi diilustrasikan dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Analisis Delay Propagasi Penerapan SDMB Pada Jaringan HSDPA

Sumber: Analisis

5.2.2.3.1 Delay Propagasi dari BMSC ke GGSN

Hubungan antara BMSC dan GGSN diasumsikan menggunakan *fiber optic* dengan jarak 10 km. Cepat rambat gelombang di cahaya adalah sebesar 2.10^8 m/s, maka *delay* propagasi antara BMSC dan GGSN didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (3.49) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{p1} &= \frac{N_{frameBMSC} \times R}{v} \\
 &= \frac{1 \times 10.10^3 m}{2.10^8 m/s} \\
 &= 5 \times 10^{-5} s
 \end{aligned}$$

5.2.2.3.2 Delay Propagasi dari GGSN ke SGSN

GGSN dan SGSN dihubungkan dengan media transmisi *fiber optic* dengan jarak antara GGSN ke SGSN diasumsikan 2000 m. Nilai *delay* propagasi antara GGSN ke SGSN didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (3.49) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{p2} &= \frac{N_{frameGGSN} \times R}{v} \\
 &= \frac{1 \times 2.10^3 m}{2.10^8 m/s} \\
 &= 1 \times 10^{-5} s
 \end{aligned}$$

5.2.2.3.3 Delay Propagasi dari SGSN ke RNC

SGSN dan RNC dihubungkan dengan media transmisi *fiber optic* dengan jarak antara SGSN ke RNC diasumsikan 3000 m. Nilai *delay* propagasi antara SGSN ke RNC didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (3.49) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{p3} &= \frac{N_{frameATM} \times R}{v} \\
 &= \frac{9 \times 3.10^3 m}{2.10^8 m/s} \\
 &= 1,35 \times 10^{-4} s
 \end{aligned}$$

5.2.2.3.4 Delay Propagasi dari RNC ke Node B

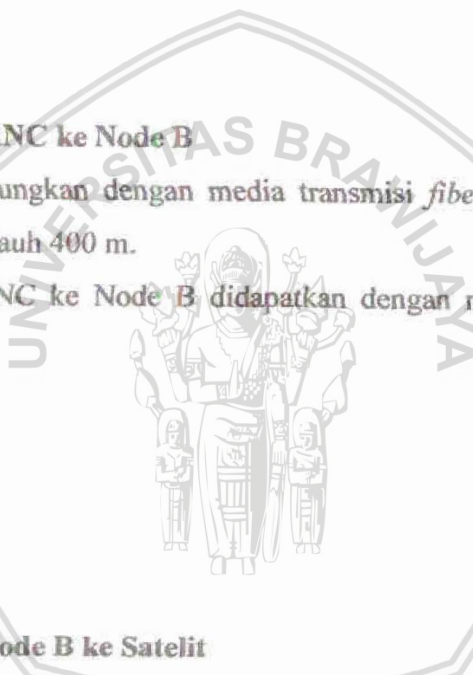
RNC dan Node B dihubungkan dengan media transmisi *fiber optic*. Jarak antara RNC ke Node B adalah sejauh 400 m.

Nilai *delay* propagasi antara RNC ke Node B didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (3.49) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{p4} &= \frac{N_{frameATM} \times R}{v} \\
 &= \frac{13 \times 4.10^2 m}{2.10^8 m/s} \\
 &= 2,6 \times 10^{-5} s
 \end{aligned}$$

5.2.2.3.5 Delay Propagasi dari Node B ke Satelit

Diasumsikan Node B SDMB hub terletak pada koordinat 2,33° BT dan 48,86° LU. SDMB menggunakan satelit GEO dengan *altitude* 35.786 km, koordinat lintang satelit adalah 0° dan posisi bujur *sub-satellite point* diasumsikan pada 2,34° BT. Jari-jari bumi sebesar 6.378 km. Sehingga jarak antara Node B dan satelit dapat ditentukan dengan Persamaan (3.50) dan (3.51) yaitu:



$$\begin{aligned}
 \cos(\delta) &= \cos(L_e)\cos(L_s)\cos(I_s - I_e) + \sin(L_e)\sin(L_s) \\
 &= \cos(48,86^\circ)\cos(0^\circ)\cos(2,33^\circ - 2,34^\circ) + \sin(48,86^\circ)\sin(0^\circ) \\
 &= (0,658 \times 1 \times 1) + (0,753 \times 0) \\
 &= 0,658
 \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
 d_{\text{NodeB-sat}} &= (R_e + R_s) \sqrt{1 + \left(\frac{R_e}{R_e + R_s}\right)^2 - 2\left(\frac{R_e}{R_e + R_s}\right)\cos(\delta)} \\
 &= (6378 + 35786) \sqrt{1 + \left(\frac{6378}{6378 + 35786}\right)^2 - 2\left(\frac{6378}{6378 + 35786}\right) \cdot 0,658} \\
 &= 42164 \sqrt{1 + (0,1513)^2 - 2(0,1513)(0,658)} \\
 &= 38270 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Nilai *delay* propagasi dari Node B ke satelit didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (3.49) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{ps} &= \frac{N_{\text{frame}} \times d_{\text{NodeB-sat}}}{v} \\
 &= \frac{1 \times 38,27 \cdot 10^6 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \\
 &= 0,128 \text{ s}
 \end{aligned}$$

5.2.2.3.6 Delay Propagasi dari Satelit ke UE

Diasumsikan pengguna berada di kota Malang pada koordinat $112,76^\circ$ BT dan $7,98^\circ$ LS. Sehingga jarak antara satelit dengan UE dapat dihitung menurut Persamaan (3.50) dan (3.51) yaitu:

$$\begin{aligned}
 \cos(\delta) &= \cos(L_e)\cos(L_s)\cos(I_s - I_e) + \sin(L_e)\sin(L_s) \\
 &= \cos(7,98^\circ)\cos(0^\circ)\cos(106,7^\circ - 112,76^\circ) + \sin(7,98^\circ)\sin(0^\circ) \\
 &= (0,9903 \times 1 \times 0,9944) + (0,139 \times 0) \\
 &= 0,9848
 \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
 d_{Sat-UE} &= (R_e + R_s) \sqrt{1 + \left(\frac{R_e}{R_e + R_s}\right)^2 - 2\left(\frac{R_e}{R_e + R_s}\right) \cos(\delta)} \\
 &= (6378 + 35786) \sqrt{1 + \left(\frac{6378}{6378 + 35786}\right)^2 - 2\left(\frac{6378}{6378 + 35786}\right) \cdot 0,9848} \\
 &= 42164 \sqrt{1 + (0,1513)^2 - 2(0,1513)(0,9848)} \\
 &= 35898,79 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Nilai *delay* propagasi dari satelit ke UE didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (3.49) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{pg} &= \frac{N_{frames} \times d_{Sat-UE}}{v} \\
 &= \frac{1 \times 35,89879 \cdot 10^6 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \\
 &= 0,1197 \text{ s}
 \end{aligned}$$

5.2.2.3.7 Delay Propagasi dari Satelit ke IMR

IMR diasumsikan berada di kota Malang pada koordinat $112,77^\circ$ BT dan $7,97^\circ$ LS. Jarak antara satelit dengan IMR dapat dihitung berdasarkan Persamaan (3.50) dan (3.51) yaitu:

$$\begin{aligned}
 \cos(\delta) &= \cos(L_e) \cos(L_s) \cos(l_s - l_e) + \sin(L_e) \sin(L_s) \\
 &= \cos(7,97^\circ) \cos(0^\circ) \cos(106,7^\circ - 112,77^\circ) + \sin(7,97^\circ) \sin(0^\circ) \\
 &= (0,9903 \times 1 \times 0,9944) + (0,139 \times 0) \\
 &= 0,9848
 \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
 d_{Sat-IMR} &= (R_e + R_s) \sqrt{1 + \left(\frac{R_e}{R_e + R_s}\right)^2 - 2\left(\frac{R_e}{R_e + R_s}\right) \cos(\delta)} \\
 &= (6378 + 35786) \sqrt{1 + \left(\frac{6378}{6378 + 35786}\right)^2 - 2\left(\frac{6378}{6378 + 35786}\right) \cdot 0,9848} \\
 &= 42164 \sqrt{1 + (0,1513)^2 - 2(0,1513)(0,9848)} \\
 &= 35898,75 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Nilai *delay* propagasi dari satelit ke IMR didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (3.49) yaitu:



$$\begin{aligned}
 t_{p7} &= \frac{N_{frame} \times d_{Sat-IMR}}{v} \\
 &= \frac{1 \times 35,89875 \cdot 10^6 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \\
 &= 0,1197 \text{ s}
 \end{aligned}$$

5.2.2.3.8 Delay Propagasi dari IMR ke UE

IMR dan UE dihubungkan dengan media transmisi udara dengan jarak antara IMR dan UE diasumsikan sejauh 400 m. Nilai *delay* propagasi antara IMR dan UE didapatkan dengan mengacu pada Persamaan (3.49) yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_{p8} &= \frac{N_{MAC-hs} \times R}{v} \\
 &= \frac{16 \times 400 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \\
 &= 2,133 \times 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

5.2.2.3.9 Delay Propagasi Total

Delay propagasi total yang terjadi untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA untuk *direct link* adalah:

$$\begin{aligned}
 t_{P(direct)total} &= t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} + t_{p5} + t_{p6} \\
 &= (5 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-5} + 1,35 \cdot 10^{-4} + 2,6 \cdot 10^{-5} + 0,128 + 0,1197) \text{ s} \\
 &= 247,921 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Sedangkan *delay* propagasi total untuk *indirect link* adalah:

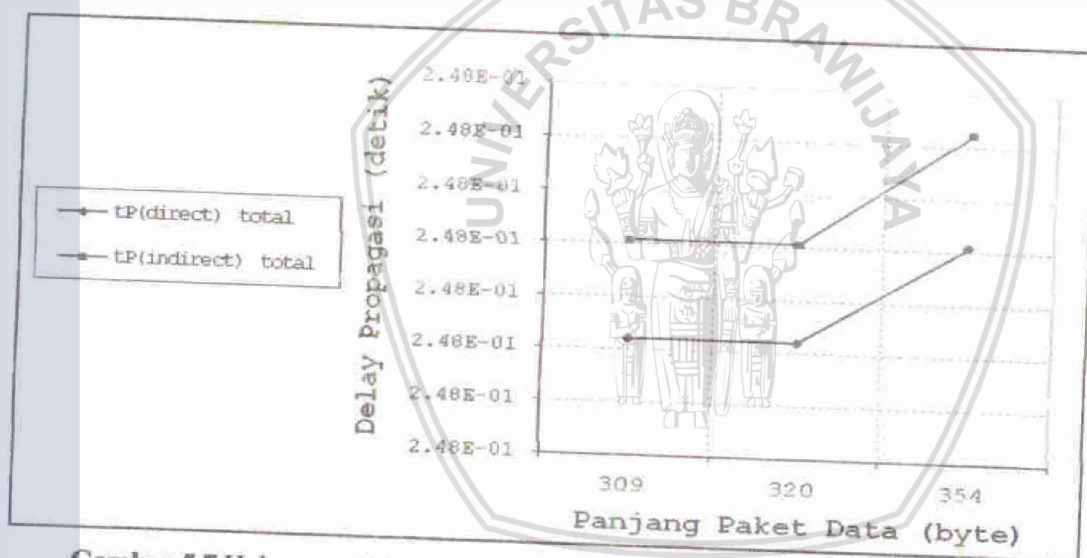
$$\begin{aligned}
 t_{P(indirect)total} &= t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} + t_{p5} + t_{p7} + t_{p8} \\
 &= (5 \cdot 10^{-5} + 1 \cdot 10^{-5} + 1,35 \cdot 10^{-4} + 2,6 \cdot 10^{-5} + 0,128 + 0,1197 + 2,133 \cdot 10^{-5}) \text{ s} \\
 &= 247,942 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *delay* propagasi total untuk paket data 309 byte dan 320 byte, baik untuk *direct link* maupun *indirect link*. Hasil *delay* tersebut ditunjukkan dalam Tabel 5.10. Sedangkan hubungan *delay* propagasi terhadap panjang paket data *mobile TV* ditampilkan dalam Gambar 5.7.

Tabel 5.10 Hasil Analisis Delay Propagasi

Delay Propagasi (s)	Panjang Paket Data (byte)		
	309	320	354
t_{p1}	5.10^{-5}	5.10^{-5}	5.10^{-5}
t_{p2}	1.10^{-5}	1.10^{-5}	1.10^{-5}
t_{p3}	$1,2.10^{-4}$	$1,2.10^{-4}$	$1,35.10^{-4}$
t_{p4}	$2,2.10^{-5}$	$2,2.10^{-5}$	$2,6.10^{-5}$
t_{p5}	0,128	0,128	0,128
t_{p6}	0,1197	0,1197	0,1197
t_{p7}	0,1197	0,1197	0,1197
t_{p8}	$1,87.10^{-5}$	$1,87.10^{-5}$	$2,133.10^{-5}$
$t_{p(\text{direct})\text{total}}$	$247,902.10^{-3}$	$247,902.10^{-3}$	$247,921.10^{-3}$
$t_{p(\text{indirect})\text{total}}$	$247,9207.10^{-3}$	$247,9207.10^{-3}$	$247,942.10^{-3}$

Sumber: Perhitungan



Gambar 5.7 Hubungan Delay Propagasi Terhadap Panjang Paket Data Mobile TV

Sumber: Perhitungan

5.2.2.4 Delay Antrian

Delay antrian yang dianalisis adalah delay yang terjadi pada GGSN, SGSN, dan SDMB hub dengan menggunakan model antrian M/M/1. Pada GGSN GGSN

menggunakan standar *Fast Ethernet* dengan kecepatan 100 Mbps dan panjang data sebesar 428 byte, maka dapat ditentukan laju pelayanan paket data berdasarkan persamaan (3.54) yaitu:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{C}{L} \\ \mu_{GGSN} &= \frac{C_{GGSN}}{L} \\ &= \frac{10^2 \cdot 10^6 \text{ bps}}{428 \text{ byte / paket} \times 8} \\ &= 29205,61 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

Pada SGSN digunakan Nokia 3G-SGSN dengan standar *Fast Ethernet* 100 Base-Fx dan memiliki kecepatan data 100 Mbps. Panjang data di SGSN adalah 477 byte per paket. Berdasarkan Persamaan (3.54) didapatkan laju pelayanan paket data yaitu:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{C}{L} \\ \mu_{SGSN} &= \frac{C_{SGSN}}{L} \\ &= \frac{10^2 \cdot 10^6 \text{ bps}}{477 \text{ byte / paket} \times 8} \\ &= 26205,45 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

Pada SDMB hub digunakan *interface* STM-1 dengan kecepatan transmisi 155,52 Mbps dan panjang data sebesar 720 byte. Sehingga dapat ditentukan laju pelayanan paket data sesuai Persamaan (3.54) sebesar:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{C}{L} \\ \mu_{SDMBhub} &= \frac{C_{SDMBhub}}{L} \\ &= \frac{155,52 \cdot 10^6 \text{ bps}}{689 \text{ byte / paket} \times 8} \\ &= 28214,8 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

Dalam analisis skripsi ini diasumsikan bahwa nilai faktor utilisasi (ρ) diubah dari nilai 0,1 sampai 0,9 dengan kenaikan sebesar 0,1. Dari masing-masing nilai ρ dapat ditentukan laju kedatangan paket (λ) berdasarkan Persamaan (3.55) yaitu :

$$\begin{aligned}\lambda_{GGSN} &= \mu_{GGSN} \times \rho \\ &= 29205,61 \times 0,1 \\ &= 2920,561 \text{ paket / s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{SGSN} &= \mu_{SGSN} \times \rho \\ &= 26205,45 \times 0,1 \\ &= 2620,545 \text{ paket / s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{SDMBhub} &= \mu_{SDMBhub} \times \rho \\ &= 28214,8 \times 0,1 \\ &= 2821,48 \text{ paket / s}\end{aligned}$$

Dari Persamaan (3.58) dapat ditentukan *delay* antrian untuk setiap kanal yaitu:

$$\begin{aligned}t_{w(GGSN)} &= \frac{\lambda_{GGSN}}{\mu_{GGSN}(\mu_{GGSN} - \lambda_{GGSN})} + \frac{1}{\mu_{GGSN}} \\ &= \frac{2920,561}{29205,61(29205,61 - 2920,561)} + \frac{1}{29205,61} \\ &= 3,804.10^{-5} \text{ s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{w(SGSN)} &= \frac{\lambda_{SGSN}}{\mu_{SGSN}(\mu_{SGSN} - \lambda_{SGSN})} + \frac{1}{\mu_{SGSN}} \\ &= \frac{2620,545}{26205,45(26205,45 - 2620,545)} + \frac{1}{26205,45} \\ &= 4,24.10^{-5} \text{ s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{w(SDMBhub)} &= \frac{\lambda_{SDMBhub}}{\mu_{SDMBhub}(\mu_{SDMBhub} - \lambda_{SDMBhub})} + \frac{1}{\mu_{SDMBhub}} \\ &= \frac{2821,48}{28214,8(28214,8 - 2821,48)} + \frac{1}{28214,8} \\ &= 3,938.10^{-5} \text{ s}\end{aligned}$$

Berdasarkan proses analisis yang sama, hasil analisis *delay* antrian yang terjadi di GGSN, SGSN dan SDMB hub terhadap perubahan faktor utilisasi untuk panjang paket data 309 byte, 320 byte dan 354 byte ditunjukkan pada Tabel 5.11-



5.13. Sedangkan hubungan *delay* antrian terhadap faktor utilisasi pada panjang paket data *mobile* TV yang berbeda ditampilkan dalam Gambar 5.8.

Tabel 5.11 Hasil Analisis *Delay* Antrian Untuk Paket Data 309 byte

F. Utilisasi (ρ)	$t_w(\text{GGSN})$	$t_w(\text{SGSN})$	$t_w(\text{SDMBhub})$	$t_{w\text{total}}$
0,1	$3,404.10^{-5}$	$3,769.10^{-5}$	$3,332.10^{-5}$	$1,051.10^{-4}$
0,2	$3,830.10^{-5}$	$4,240.10^{-5}$	$3,749.10^{-5}$	$1,182.10^{-4}$
0,3	$4,377.10^{-5}$	$4,846.10^{-5}$	$4,284.10^{-5}$	$1,351.10^{-4}$
0,4	$5,107.10^{-5}$	$5,653.10^{-5}$	$4,998.10^{-5}$	$1,576.10^{-4}$
0,5	$6,128.10^{-5}$	$6,784.10^{-5}$	$5,998.10^{-5}$	$1,891.10^{-4}$
0,6	$7,660.10^{-5}$	$8,480.10^{-5}$	$7,497.10^{-5}$	$2,364.10^{-4}$
0,7	$1,021.10^{-4}$	$1,131.10^{-4}$	$9,997.10^{-4}$	$3,152.10^{-4}$
0,8	$1,532.10^{-4}$	$1,696.10^{-4}$	$1,499.10^{-4}$	$4,727.10^{-4}$
0,9	$3,064.10^{-4}$	$3,392.10^{-4}$	$2,999.10^{-4}$	$9,455.10^{-4}$

Sumber: Perhitungan

Tabel 5.12 Hasil Analisis *Delay* Antrian Untuk Paket Data 320 byte

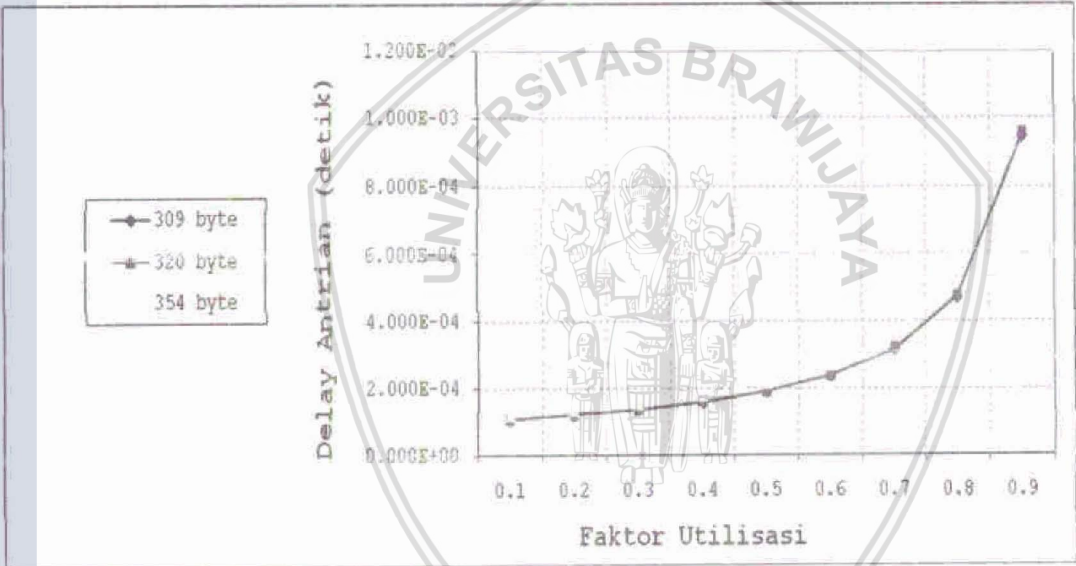
F. Utilisasi (ρ)	$t_w(\text{GGSN})$	$t_w(\text{SGSN})$	$t_w(\text{SDMBhub})$	$t_{w\text{total}}$
0,1	$3,502.10^{-5}$	$3,769.10^{-5}$	$3,332.10^{-5}$	$1,060.10^{-4}$
0,2	$3,940.10^{-5}$	$4,240.10^{-5}$	$3,749.10^{-5}$	$1,193.10^{-4}$
0,3	$4,503.10^{-5}$	$4,846.10^{-5}$	$4,284.10^{-5}$	$1,363.10^{-4}$
0,4	$5,253.10^{-5}$	$5,653.10^{-5}$	$4,998.10^{-5}$	$1,590.10^{-4}$
0,5	$6,304.10^{-5}$	$6,784.10^{-5}$	$5,998.10^{-5}$	$1,909.10^{-4}$
0,6	$7,880.10^{-5}$	$8,480.10^{-5}$	$7,497.10^{-5}$	$2,386.10^{-4}$
0,7	$1,051.10^{-4}$	$1,131.10^{-4}$	$9,997.10^{-5}$	$3,181.10^{-4}$
0,8	$1,576.10^{-4}$	$1,696.10^{-4}$	$1,499.10^{-4}$	$4,771.10^{-4}$
0,9	$3,152.10^{-4}$	$3,392.10^{-4}$	$2,999.10^{-4}$	$9,543.10^{-4}$

Sumber: Perhitungan

Tabel 5.13 Hasil Analisis *Delay* Antrian Untuk Paket Data 354 byte

F. Utilisasi (ρ)	$t_w(\text{GGSN})$	$t_w(\text{SGSN})$	$t_w(\text{SDMBhub})$	$t_{w\text{total}}$
0,1	$3,804.10^{-5}$	$4,240.10^{-5}$	$3,938.10^{-5}$	$1,198.10^{-4}$
0,2	$4,280.10^{-5}$	$4,770.10^{-5}$	$4,430.10^{-5}$	$1,348.10^{-4}$
0,3	$4,891.10^{-5}$	$5,451.10^{-5}$	$5,063.10^{-5}$	$1,541.10^{-4}$
0,4	$5,707.10^{-5}$	$6,360.10^{-5}$	$5,907.10^{-5}$	$1,797.10^{-4}$
0,5	$6,848.10^{-5}$	$7,632.10^{-5}$	$7,089.10^{-5}$	$2,157.10^{-4}$
0,6	$8,560.10^{-5}$	$9,540.10^{-5}$	$8,861.10^{-5}$	$2,696.10^{-4}$
0,7	$1,141.10^{-4}$	$1,272.10^{-4}$	$1,181.10^{-4}$	$3,595.10^{-4}$
0,8	$1,712.10^{-4}$	$1,908.10^{-4}$	$1,772.10^{-4}$	$5,392.10^{-4}$
0,9	$3,424.10^{-4}$	$3,816.10^{-4}$	$3,544.10^{-4}$	$1,078.10^{-3}$

Sumber: Perhitungan



Gambar 5.8 Hubungan *Delay* Antrian Terhadap Faktor Utilisasi Untuk Panjang Paket Data 309 byte, 320 byte, 354 byte

Sumber: Perhitungan

5.2.2.5 Delay Total

Dari hasil perhitungan *delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, dan *delay* antrian, maka dapat dihitung *delay* jaringan. Dengan menggunakan Persamaan

(3.1) diperoleh *delay* jaringan untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA dengan panjang paket data 354 byte dan faktor utilisasi sebesar 0,1 baik untuk *direct link* maupun *indirect link* yaitu:

$$\begin{aligned} t_{net(direct)} &= t_{proc} + t_{T(direct)total} + t_{P(direct)total} + t_w \\ &= (1,83382.10^{-3}) + (9,9158.10^{-4}) + (247,921.10^{-3}) + (1,198.10^{-4}) \\ &= 250,87\ ms \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{net(indirect)} &= t_{proc} + t_{T(indirect)total} + t_{P(indirect)total} + t_w \\ &= (1,83382.10^{-3}) + (8,4688.10^{-4}) + (247,942.10^{-3}) + (1,198.10^{-4}) \\ &= 250,74\ ms \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai *delay-end-to-end* penerapan SDMB pada jaringan HSDPA, maka *delay* jaringan perlu dijumlahkan dengan *delay* CODEC aplikasi *mobile TV* sesuai dengan Persamaan (2.3) yaitu:

$$\begin{aligned} t_{end-to-end(direct)} &= t_{CODEC} + t_{net(direct)} \\ &= (190.10^{-3}) + (250,87.10^{-3}) \\ &= 4,4087.10^{-1}\ s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{end-to-end(indirect)} &= t_{CODEC} + t_{net(indirect)} \\ &= (190.10^{-3}) + (250,74.10^{-3}) \\ &= 4,4074.10^{-1}\ s \end{aligned}$$

Berdasarkan proses analisis tersebut, hasil perhitungan *delay* total untuk paket data 309 byte, 320 byte dan 354 byte dengan faktor utilisasi (ρ) 0,1 sampai 0,9 ditunjukkan dalam Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Hasil Analisis Delay End-to-end

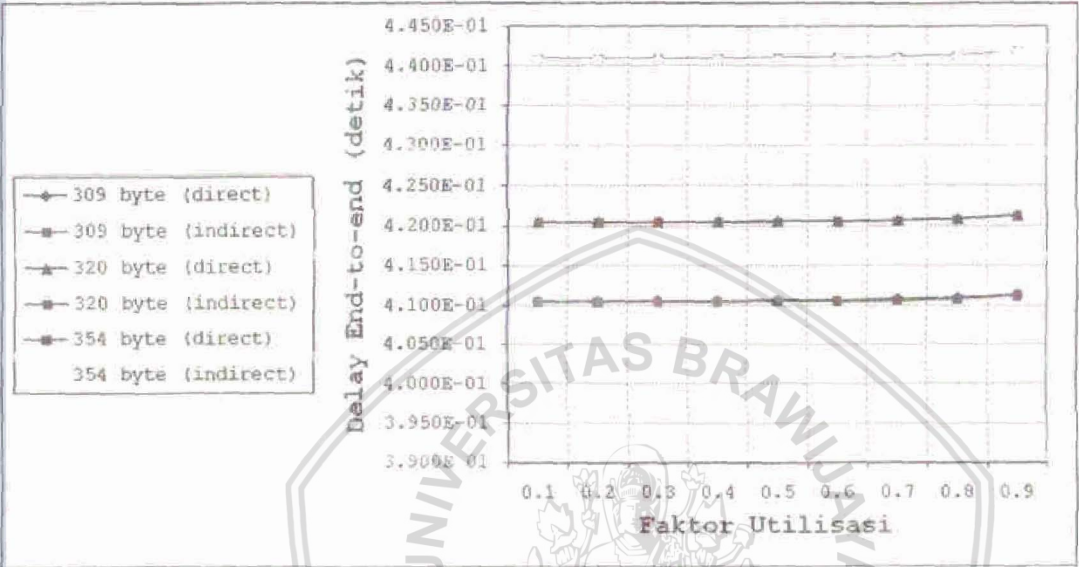
Faktor Utilisasi (ρ)	Delay End-to-end Pada Paket Data Aplikasi Mobile TV (detik)					
	309 byte		320 byte		354 byte	
	Direct Link	Indirect Link	Direct Link	Indirect Link	Direct Link	Indirect Link
0,1	4,105.10 ⁻¹	4,104.10 ⁻¹	4,205.10 ⁻¹	4,204.10 ⁻¹	4,409.10 ⁻¹	4,407.10 ⁻¹
0,2	4,105.10 ⁻¹	4,104.10 ⁻¹	4,205.10 ⁻¹	4,204.10 ⁻¹	4,409.10 ⁻¹	4,408.10 ⁻¹
0,3	4,105.10 ⁻¹	4,104.10 ⁻¹	4,205.10 ⁻¹	4,204.10 ⁻¹	4,409.10 ⁻¹	4,408.10 ⁻¹
0,4	4,105.10 ⁻¹	4,104.10 ⁻¹	4,205.10 ⁻¹	4,204.10 ⁻¹	4,409.10 ⁻¹	4,408.10 ⁻¹
0,5	4,106.10 ⁻¹	4,105.10 ⁻¹	4,206.10 ⁻¹	4,205.10 ⁻¹	4,410.10 ⁻¹	4,408.10 ⁻¹



Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Analisis Delay End-to-end

0,6	$4,106.10^{-1}$	$4,105.10^{-1}$	$4,206.10^{-1}$	$4,205.10^{-1}$	$4,410.10^{-1}$	$4,409.10^{-1}$
0,7	$4,107.10^{-1}$	$4,106.10^{-1}$	$4,207.10^{-1}$	$4,206.10^{-1}$	$4,411.10^{-1}$	$4,410.10^{-1}$
0,8	$4,109.10^{-1}$	$4,107.10^{-1}$	$4,209.10^{-1}$	$4,207.10^{-1}$	$4,413.10^{-1}$	$4,412.10^{-1}$
0,9	$4,113.10^{-1}$	$4,112.10^{-1}$	$4,213.10^{-1}$	$4,212.10^{-1}$	$4,418.10^{-1}$	$4,417.10^{-1}$

Sumber: Perhitungan



Gambar 5.9 Hubungan Delay End-to-end Terhadap Faktor Utilisasi Untuk Direct Link dan Indirect Link Pada Panjang Paket Data 309 byte, 320 byte, 354 byte

Sumber: Perhitungan

Dari hasil analisis yang dilakukan baik secara matematis maupun grafis untuk delay end-to-end dapat dijelaskan bahwa:

- Delay end-to-end penerapan SDMB pada jaringan HSDPA dipengaruhi oleh panjang paket data aplikasi mobile TV dan faktor utilisasi.
- Pada panjang paket data yang sama, semakin besar faktor utilisasi maka semakin besar pula delay end-to-end yang terjadi.
- Pada faktor utilisasi yang sama, semakin besar paket data maka delay end-to-end yang terjadi juga semakin besar.

- *Delay end-to-end* yang terjadi pada jalur *direct link* lebih besar daripada *delay end-to-end* pada *indirect link*, walaupun selisih keduanya sangat kecil. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan transmisi data pada jalur satelit-UE (*direct*) dan satelit-IMR (*indirect*).
- *Delay end-to-end* terbesar terjadi pada paket data 354 byte *direct link* dengan faktor utilisasi 0,9 yaitu $4,418.10^{-1}$ detik, sedangkan *delay end-to-end* terkecil terjadi pada paket data 309 byte *indirect link* dengan faktor utilisasi 0,1 yaitu $4,104.10^{-1}$ detik.
- Hasil analisis *delay end-to-end* penerapan SDMB pada jaringan HSDPA memenuhi standar toleransi *delay* yang direkomendasikan untuk aplikasi *real-time* yaitu kurang dari 450 ms (Seoung-Hoon Oh, 2005: 116).

5.3 Probabilitas Packet Loss Penerapan SDMB Pada Jaringan HSDPA

5.3.1 Probabilitas Packet Loss Aplikasi Mobile TV

Probabilitas *packet loss* aplikasi *mobile TV* dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.5) yaitu:

$$\begin{aligned}\rho_{mobile\ TV} &= W_{mob} \cdot \rho_b \\ &= 354 \times 8 \times 10^{-8} \\ &= 2,832.10^{-5}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis probabilitas *packet loss* untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte ditunjukkan dalam Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil Analisis Probabilitas *Packet Loss* Aplikasi *Mobile TV*

No.	Panjang Paket Data Aplikasi <i>Mobile TV</i> (byte)	Probabilitas <i>Packet Loss</i> Aplikasi <i>Mobile TV</i> ($\rho_{mobile\ TV}$)
1.	309	$2,472.10^{-5}$
2.	320	$2,56.10^{-5}$
3.	354	$2,832.10^{-5}$

Sumber: Perhitungan

5.3.2 Probabilitas Packet Loss Pada Node-Node HSDPA

Probabilitas *packet loss* pada jaringan HSDPA dihitung dari probabilitas *packet loss* yang terjadi pada *air interface* HSDPA, *air interface* satelit, RAN (*node B*, RNC), *core network* (SGSN, GGSN), dan BMSC. Dengan menggunakan Persamaan (3.61), maka probabilitas *packet loss* pada BMSC untuk paket data 354 byte yaitu:

$$\begin{aligned}\rho_{BMSC} &= (l + l')\rho_b \\ &= 420 \times 8 \times 10^{-8} \\ &= 3,36.10^{-5}\end{aligned}$$

Probabilitas *packet loss* pada *core network* HSDPA dengan mengacu pada Persamaan (3.61) adalah:

$$\begin{aligned}\rho_{GGSN} &= (l + l')\rho_b \\ &= 428 \times 8 \times 10^{-8} \\ &= 3,424.10^{-5}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{SGSN} &= (l + l')\rho_b \\ &= 477 \times 8 \times 10^{-8} \\ &= 3,816.10^{-5}\end{aligned}$$

Sedangkan probabilitas *packet loss* pada RAN HSDPA sesuai dengan Persamaan (3.61) adalah:

$$\begin{aligned}\rho_{RNC} &= (l + l')\rho_b \\ &= 689 \times 8 \times 10^{-8} \\ &= 5,512.10^{-5}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{NodeB} &= (l + l')\rho_b \\ &= 720 \times 8 \times 10^{-8} \\ &= 5,76.10^{-5}\end{aligned}$$

5.3.3 Probabilitas Packet Loss Air Interfaces

Probabilitas *packet loss* pada *air interfaces* meliputi *uplink* dan *downlink* satelit, dan *air interface* HSDPA.



5.3.3.1 Uplink

Probabilitas *packet loss* pada *uplink* satelit ditentukan dengan parameter-parameter *link budget* pada Tabel 3.3. Dengan menggunakan Persamaan (3.62) sampai dengan Persamaan (3.68) diperoleh:

➤ FSL

$$\begin{aligned} FSL_u &= 32,4 + 20\log r + 20\log f_u \\ &= 32,4 + 20 \log 35827,41 + 20 \log (14,5 \cdot 10^3) \\ &= 206,71 \text{ dB} \end{aligned}$$

➤ G/T

$$\begin{aligned} [G/T]_u &= G - 10\log T \\ &= 51 - 10\log 500 \\ &= 24,01 \text{ dBK}^{-1} \end{aligned}$$

➤ C/No

$$\begin{aligned} [C/N_o]_u &= EIRP + [G/T]_u - \text{Losses} - 10\log k \\ &= 70 + 24,01 - (206,71 + 30 + 1,5) - 10\log (1,38 \times 10^{-23}) \\ &= 70 + 24,01 - 238,21 + 228,6 \\ &= 84,4 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

➤ Eb/No

$$\begin{aligned} [E_b/N_o]_u &= [C/N_o]_u - 10\log Rb \\ &= 84,4 - 10\log (40 \cdot 10^6) \\ &= 8,38 \text{ dB} \\ &= 6,89 \end{aligned}$$

➤ Pe

$$\begin{aligned} P_e &= Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \\ &= Q(\sqrt{13,78}) \end{aligned}$$

Dengan mengacu pada Persamaan (3.67) maka didapatkan:

$$P_e = Q(z) = \left[\frac{e^{-z^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1-0,339)z + 0,339\sqrt{z^2 + 5,51}} \right]$$

$$Q(\sqrt{13,78}) = \left[\frac{e^{-(\sqrt{13,78})^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1-0,339)(\sqrt{13,78}) + 0,339\sqrt{(\sqrt{13,78})^2 + 5,51}} \right]$$

$$= 1,029995661 \times 10^{-4}$$

➤ ρ_u

$$\rho_u = 1 - (1 - P_e)^{I+I'}$$

$$= 1 - (1 - 1,029995661 \cdot 10^{-4})^{45 \times 8}$$

$$= 0,0364$$

5.3.3.2 Downlink Satelit-UE

Probabilitas *packet loss* pada jalur *downlink* satelit-UE ditentukan dengan parameter-parameter *link budget* pada Tabel 3.4. Dengan menggunakan Persamaan (3.69) sampai dengan Persamaan (3.75) diperoleh:

➤ FSL

$$FSL_{dl} = 32,4 + 20 \log r + 20 \log f_{dl}$$

$$= 32,4 + 20 \log 35898,79 + 20 \log 2617,5$$

$$= 191,86 \text{ dB}$$

➤ T

$$T_e = (F-1)T_o$$

$$= (1,413-1)290$$

$$= 119,77^\circ K$$

$$T = T_{sys} + T_e + T_{ant}$$

$$= (269,6 + 119,77 + 150)^\circ K$$

$$= 539,57^\circ K$$

➤ G/T

$$[G/T]_{UE} = G - 10 \log T$$

$$= 2,5 - 10 \log 539,57$$

$$= -24,82 \text{ dBK}^{-1}$$

➤ C/No

$$\begin{aligned}
 [C/N_o]_{UE} &= EIRP + [G/T]_{UE} - Losses - 10 \log k \\
 &= 67 - 24,82 - (191,86 + 2) - 10 \log (1,38 \times 10^{-23}) \\
 &= 67 - 24,82 - 193,86 + 228,6 \\
 &= 76,92 \text{ dBHz}
 \end{aligned}$$

➤ E_b/N_o

$$\begin{aligned}
 [E_b/N_o]_{UE} &= [C/N_o]_{UE} - 10 \log Rb \\
 &= 76,92 - 10 \log (7,68 \times 10^6) \\
 &= 8,07 \text{ dB} \\
 &= 6,41
 \end{aligned}$$

➤ P_e

$$\begin{aligned}
 P_e &= Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \\
 &= Q(\sqrt{12,82})
 \end{aligned}$$

Dengan mengacu pda Persamaan (3.67) maka didapatkan:

$$\begin{aligned}
 P_e = Q(z) &= \frac{e^{-z^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0,339)z + 0,339\sqrt{z^2 + 5,51}} \\
 Q(\sqrt{12,82}) &= \frac{e^{-(\sqrt{12,82})^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0,339)(\sqrt{12,82}) + 0,339\sqrt{(\sqrt{12,82})^2 + 5,51}} \\
 &= 1,718839819 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

➤ ρ_{dl}

$$\begin{aligned}
 \rho_{dl} &= 1 - (1 - P_e)^{45 \times 8} \\
 &= 1 - (1 - 1,718839819 \cdot 10^{-4})^{45 \times 8} \\
 &= 0,06
 \end{aligned}$$

5.3.3.3 Downlink Satelit-IMR

Probabilitas *packet loss* pada jalur *downlink* satelit-IMR ditentukan dengan parameter-parameter *link budget* pada Tabel 3.5. Dengan menggunakan Persamaan (3.76) sampai dengan Persamaan (3.80) diperoleh:

➤ FSL

$$\begin{aligned} \text{FSL}_{d2} &= 32,4 + 20 \log r + 20 \log f_{d2} \\ &= 32,4 + 20 \log 35898,75 + 20 \log (12,2 \cdot 10^3) \\ &= 205,23 \text{ dB} \end{aligned}$$

➤ G/T

$$\begin{aligned} [G/T]_{\text{IMR}} &= G - 10 \log T \\ &= 18 - 10 \log 500 \\ &= -8,99 \text{ dBK}^{-1} \end{aligned}$$

➤ C/No

$$\begin{aligned} [C/N_o]_{\text{IMR}} &= \text{EIRP} + [G/T]_{\text{IMR}} - \text{Losses} - 10 \log k \\ &= 75 - 8,99 - (205,23 + 1,5) - 10 \log (1,38 \times 10^{-23}) \\ &= 75 - 8,99 - 206,73 + 228,6 \\ &= 87,88 \text{ dBHz} \end{aligned}$$

➤ Eb/No

$$\begin{aligned} [E_b/N_o]_{\text{IMR}} &= [C/N_o]_{\text{IMR}} - 10 \log Rb \\ &= 87,88 - 10 \log (80 \times 10^6) \\ &= 8,85 \text{ dB} \\ &= 7,67 \end{aligned}$$

➤ Pe

$$\begin{aligned} P_e &= Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \\ &= Q(\sqrt{15,34}) \end{aligned}$$

Dengan mengacu pada Persamaan (3.67) maka didapatkan:

$$P_e = Q(z) = \left[\frac{e^{-z^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0,339)z + 0,339\sqrt{z^2 + 5,51}} \right]$$

$$\begin{aligned} Q(\sqrt{15,34}) &= \left[\frac{e^{-(\sqrt{15,34})^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0,339)(\sqrt{15,34}) + 0,339\sqrt{(\sqrt{15,34})^2 + 5,51}} \right] \\ &= 4,5 \times 10^{-5} \end{aligned}$$



➤ P_{d2}

$$\begin{aligned} P_{d2} &= 1 - (1 - P_e)^{45 \times 8} \\ &= 1 - (1 - 4,5 \times 10^{-5})^{45 \times 8} \\ &= 0,0162 \end{aligned}$$

5.3.3.4 Air Interface HSDPA

Probabilitas *packet loss* pada *air interface* HSDPA ditentukan dengan parameter-parameter *link budget* pada Tabel 3.6. Dengan menggunakan Persamaan (3.81) sampai dengan Persamaan (3.83) diperoleh:

➤ P_{tr}

$$\begin{aligned} P_{tr} &= EIRP - L_p + G_{MS} - I_m \\ &= 57 - 126,36 + 0 - 9 \\ &= -78,36 \text{ dBW} \end{aligned}$$

➤ N_o

$$\begin{aligned} N_o &= 10 \log(290 \times 1,38 \cdot 10^{-23}) + NF_{MS} + 40 \\ &= -203,98 + 8 + 40 \\ &= -155,98 \text{ dBm / Hz} \end{aligned}$$

➤ E_b/N_o

$$\begin{aligned} [E_b / N_o]_{tr} &= P_{tr} - 10 \log R_b - 10 \log 10^{0,1 N_o} \\ &= -78,36 - 10 \log(3,6 \cdot 10^6) - 10 \log 10^{0,1(-155,98)} \\ &= -78,36 - 65,56 + 155,98 \\ &= 12,06 \text{ dB} \\ &= 16,07 \end{aligned}$$

➤ P_e

$$\begin{aligned} P_e &= Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \\ &= Q(\sqrt{32,14}) \end{aligned}$$

Dengan mengacu pada Persamaan (3.67) maka didapatkan:

$$P_e = Q(z) = \left[\frac{e^{-z^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1-0,339)z + 0,339\sqrt{z^2 + 5,51}} \right]$$

$$Q(\sqrt{32,14}) = \left[\frac{e^{-(\sqrt{32,14})^2/2} / \sqrt{2\pi}}{(1-0,339)(\sqrt{32,14}) + 0,339\sqrt{(\sqrt{32,14})^2 + 5,51}} \right]$$

$$= 7,183230788 \times 10^{-9}$$

➤ ρ_{tr}

$$\rho_{tr} = 1 - (1 - P_e)^{I+I'}$$

$$= 1 - (1 - 7,183230788 \times 10^{-9})^{45 \times 8}$$

$$= 2,586 \cdot 10^{-6}$$

5.3.4 Probabilitas *Packet Loss* Total

Analisis probabilitas *packet loss* total pada jaringan dilakukan untuk dua jalur, yakni *direct link* dan *indirect link*. Besarnya probabilitas *packet loss* jaringan untuk masing-masing jalur dapat ditentukan dengan mengacu pada Persamaan (3.61).

5.3.4.1 *Direct Link*

Besarnya probabilitas *packet loss* jaringan untuk jalur *direct link* adalah:

$$\rho_{network} = 1 - [(1 - \rho_{dl})(1 - \rho_u)(1 - \rho_{NodeB})(1 - \rho_{RNC})(1 - \rho_{SGSN})(1 - \rho_{GGSN})(1 - \rho_{BMSC})]$$

$$= 1 - [(1 - 0,06)(1 - 0,0364)(1 - 5,76 \cdot 10^{-5})(1 - 5,512 \cdot 10^{-5})(1 - 3,816 \cdot 10^{-5})(1 - 3,424 \cdot 10^{-5})(1 - 3,36 \cdot 10^{-5})]$$

$$= 0,0944$$

Sehingga bisa didapatkan nilai probabilitas *packet loss* total untuk aplikasi *mobile TV* pada SDMB jalur *direct link* sesuai dengan Persamaan (3.60) yaitu:

$$\rho_{tot} = 1 - [(1 - \rho_{network})(1 - \rho_{mobileTV})]$$

$$= 1 - [(1 - 0,0944)(1 - 2,832 \cdot 10^{-5})]$$

$$= 1 - 0,9056$$

$$= 0,0944$$

5.3.4.2 *Indirect Link*

Besarnya probabilitas *packet loss* jaringan untuk jalur *indirect link* adalah:

repository.bawijaya.ac.id

$$= 1 - [(1 - \rho_{ir})(1 - \rho_{d2})(1 - \rho_u)(1 - \rho_{NodeB})(1 - \rho_{RNC})(1 - \rho_{SGSN})(1 - \rho_{GGSN})(1 - \rho_{BMSC})]$$
$$= 1 - [(1 - 2,586 \cdot 10^{-6})(1 - 0,0162)(1 - 0,0364)(1 - 5,76 \cdot 10^{-5})(1 - 5,512 \cdot 10^{-5})(1 - 3,816 \cdot 10^{-5})(1 - 3,424 \cdot 10^{-5})(1 - 3,36 \cdot 10^{-5})]$$
$$= 0,0522$$

Sehingga bisa didapatkan nilai probabilitas *packet loss* total untuk aplikasi *mobile TV* pada SDMB jalur *direct link* sesuai dengan Persamaan (3.60) yaitu:

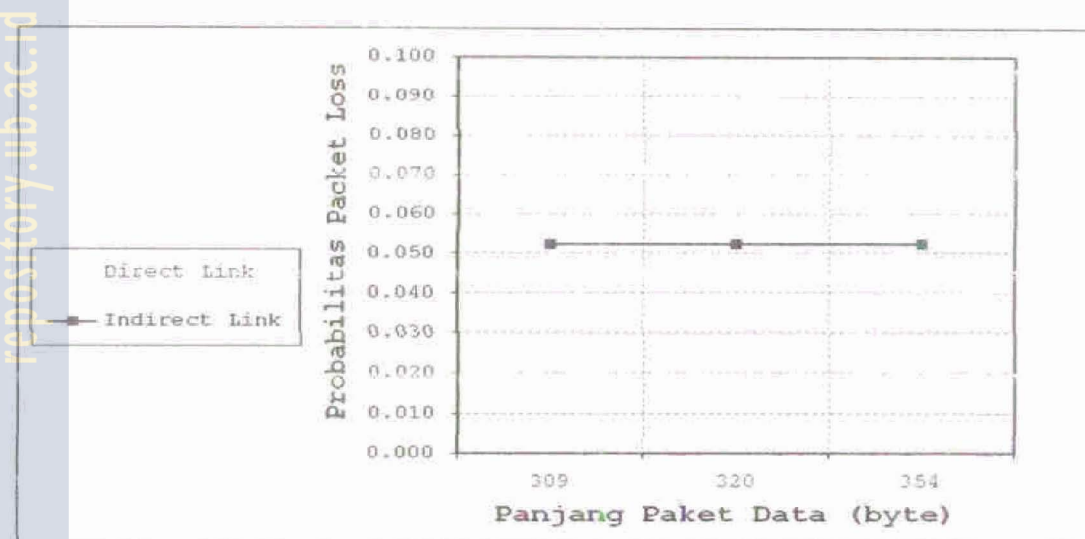
$$\begin{aligned} \rho_{tot} &= 1 - [(1 - \rho_{network})(1 - \rho_{mobileTV})] \\ &= 1 - [(1 - 0,0522)(1 - 2,832 \cdot 10^{-5})] \\ &= 1 - 0,948 \\ &= 0,0522 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis probabilitas *packet loss* yang terjadi pada *air interfaces*, RAN, dan *core network* untuk paket data 309 byte dan 320 byte ditunjukkan dalam Tabel 5.16. Sedangkan hubungan probabilitas *packet loss* terhadap panjang paket data *mobile TV* ditampilkan dalam Gambar 5.10.

Tabel 5.16 Hasil Analisis Probabilitas Packet Loss

No	Probabilitas Packet Loss	Panjang Paket Data (byte)		
		309	320	354
1.	$\rho_{mobileTV}$	$2,472 \cdot 10^{-5}$	$2,56 \cdot 10^{-5}$	$2,832 \cdot 10^{-5}$
2.	ρ_{BMSC}	$3 \cdot 10^{-5}$	$3,12 \cdot 10^{-5}$	$3,36 \cdot 10^{-5}$
3.	ρ_{GGSN}	$3,064 \cdot 10^{-5}$	$3,152 \cdot 10^{-5}$	$3,424 \cdot 10^{-5}$
4.	ρ_{SGSN}	$3,339 \cdot 10^{-5}$	$3,392 \cdot 10^{-5}$	$3,816 \cdot 10^{-5}$
5.	ρ_{RNC}	$4,664 \cdot 10^{-5}$	$4,664 \cdot 10^{-5}$	$5,512 \cdot 10^{-5}$
6.	ρ_{NodeB}	$5,04 \cdot 10^{-5}$	$5,04 \cdot 10^{-5}$	$5,76 \cdot 10^{-5}$
7.	ρ_u	$3,64 \cdot 10^{-2}$	$3,64 \cdot 10^{-2}$	$3,64 \cdot 10^{-2}$
8.	ρ_{d1}	$6 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$
9.	ρ_{d2}	$1,62 \cdot 10^{-2}$	$1,62 \cdot 10^{-2}$	$1,62 \cdot 10^{-2}$
10.	ρ_{ir}	$2,586 \cdot 10^{-6}$	$2,586 \cdot 10^{-6}$	$2,586 \cdot 10^{-6}$
11.	$\rho_{(direct)total}$	$9,441 \cdot 10^{-2}$	$9,441 \cdot 10^{-2}$	$9,444 \cdot 10^{-2}$
12.	$\rho_{(indirect)total}$	$5,222 \cdot 10^{-2}$	$5,222 \cdot 10^{-2}$	$5,225 \cdot 10^{-2}$

Sumber: Perhitungan



Gambar 5.10 Hubungan Probabilitas *Packet Loss* Terhadap Panjang Paket Data *Mobile TV*

Sumber: Perhitungan

Berdasarkan analisis yang dilakukan secara matematis maupun grafis maka dapat dijelaskan bahwa:

- Semakin panjang paket data *mobile TV* yang ditransmisikan maka probabilitas *packet loss* untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA juga semakin besar namun peningkatan yang terjadi cukup kecil sehingga dapat dikatakan bahwa nilai probabilitas *packet loss* relatif konstan pada semua panjang paket data.
- Probabilitas *packet loss* untuk jalur *direct link* lebih besar daripada *indirect link*. Hal ini disebabkan karena E_b/N_0 pada *direct link* lebih kecil daripada E_b/N_0 *indirect link*.
- Probabilitas *packet loss* total terbesar yaitu $9,444 \cdot 10^{-2}$ untuk paket data 354 byte pada *direct link*. Sedangkan probabilitas *packet loss* terkecil adalah $5,222 \cdot 10^{-2}$ untuk paket data 309 byte dan 320 byte pada *indirect link*.

5.4 Throughput

Analisis *throughput* yang dilakukan dalam skripsi ini adalah dari BMSC hingga ke UE sesuai dengan persamaan (3.86). Namun sebelumnya pada sub bab 5.3



telah ditentukan probabilitas *packet loss* untuk paket data 354 byte yang terjadi pada *air interfaces* HSDPA, RAN (Node B, RNC), *core network* (SGSN, GGSN), dan BMSC. Waktu yang dibutuhkan untuk pentransmisian satu *frame* melalui *direct link* ditentukan melalui persamaan (3.88) yaitu:

$$\begin{aligned} t_t &= \frac{(PI_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \\ &= \frac{(720) \text{ byte} \times 8}{7,68.10^6 \text{ bps}} \\ &= 7,5.10^{-4} \text{ s} \end{aligned}$$

Delay propagasi total dan *delay proses* total untuk satu *frame* pada jalur *direct link* dengan faktor utilisasi 0,1 dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\begin{aligned} t_p &= \frac{t_{p \text{ total}}}{N_{it} - 1} \\ &= \frac{247,921.10^{-3} \text{ s}}{1} \\ &= 247,921.10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{proc} &= \frac{t_{proc}}{N_{frame}} + \frac{t_{w \text{ total}}}{N_{frame}} \\ &= \left(\frac{1,83382.10^{-3}}{1} + \frac{1,198.10^{-4}}{1} \right) \text{ s} \\ &= 1,95362.10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Sehingga *fixed timeout interval* dapat diperoleh sesuai dengan persamaan (3.89) sebesar:

$$\begin{aligned} t_{out} &= 2t_p + 2t_t + t_{proc} \\ &= (2 \times 247,921.10^{-3}) + (2 \times 7,5.10^{-4}) + (1,95362.10^{-3}) \\ &= 4,993.10^{-1} \text{ s} \end{aligned}$$

Maka konstanta α dapat diperoleh sesuai dengan persamaan (3.90):

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 1 + \frac{t_{out}}{t_l} \\
 &= 1 + \frac{4,993 \cdot 10^{-1}}{7,5 \cdot 10^{-4}} \\
 &= 666,727
 \end{aligned}$$

Sehingga dengan probabilitas *packet loss* total untuk *direct link* sebesar 0,09444 diperoleh besarnya *throughput* sesuai dengan persamaan (3.86) yaitu:

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{(1 - \rho_{tot})}{t_l [1 + (\alpha - 1) \rho_{tot}]} \\
 &= \frac{(1 - 0,09444)}{7,5 \cdot 10^{-4} [1 + (666,727 - 1) \times 0,09444]} \\
 &= 18,904 \text{ paket/s} \\
 &= (18,904 \times 720) \times 8 \text{ bps} \\
 &= 108,887 \text{ kbps}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk *indirect link*, waktu yang dibutuhkan untuk pentransmisian satu *frame* sesuai persamaan (3.87) adalah:

$$\begin{aligned}
 t_l &= \frac{(Pl_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \\
 &= \frac{(42 + 3) \text{ byte} \times 8}{3,6 \cdot 10^6 \text{ bps}} \\
 &= 1 \cdot 10^{-4} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Delay propagasi total dan *delay* proses total untuk satu *frame* pada panjang paket data 354 byte melalui jalur *indirect link* dengan faktor utilisasi 0,1 dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\begin{aligned}
 t_p &= \frac{t_{p \text{ total}}}{N_{frame}} \\
 &= \frac{247,942 \cdot 10^{-3} \text{ s}}{16} \\
 &= 1,55 \cdot 10^{-2} \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{proc} &= \frac{t_{proc}}{N_{frame}} + \frac{t_{W\ total}}{N_{frame}} \\
 &= \left(\frac{1,83382 \cdot 10^{-3}}{16} + \frac{1,198 \cdot 10^{-4}}{16} \right) s \\
 &= 1,221 \cdot 10^{-4} s
 \end{aligned}$$

Sehingga *fixed timeout interval* dapat diperoleh sesuai dengan persamaan (3.89) sebesar:

$$\begin{aligned}
 t_{out} &= 2t_p + 2t_l + t_{proc} \\
 &= (2 \times 1,55 \cdot 10^{-2}) + (2 \times 1 \cdot 10^{-4}) + (1,221 \cdot 10^{-4}) \\
 &= 3,1322 \cdot 10^{-2} s
 \end{aligned}$$

Nilai konstanta α dapat diperoleh sesuai dengan persamaan (3.90):

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 1 + \frac{t_{out}}{t_l} \\
 &= 1 + \frac{3,1322 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-4}} \\
 &= 314,221
 \end{aligned}$$

Dengan probabilitas *packet loss total* untuk *indirect link* sebesar 0,0522 diperoleh besarnya *throughput* sesuai dengan persamaan (3.86) yaitu:

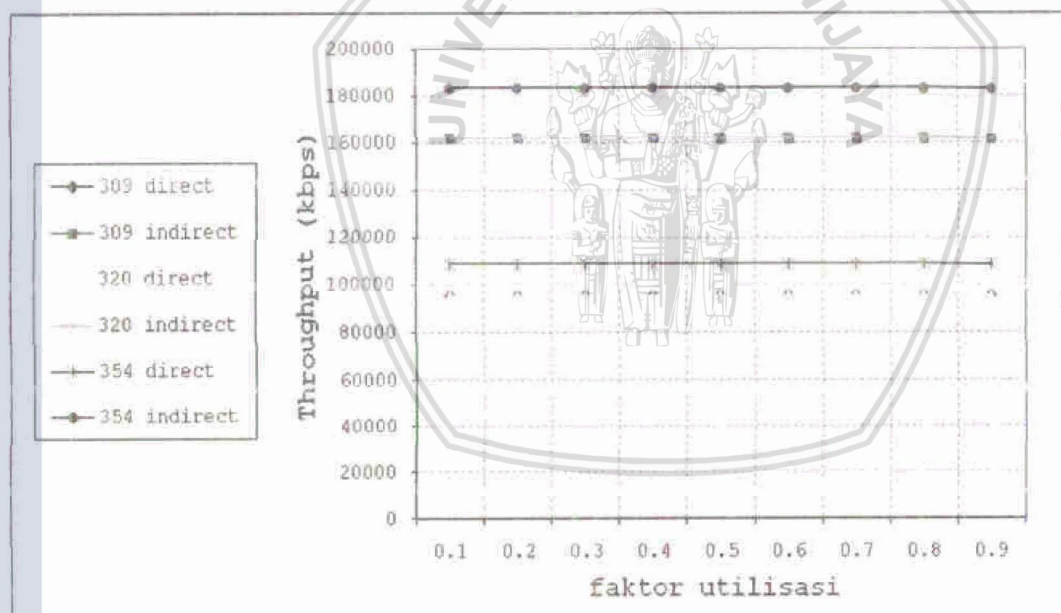
$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{(1 - \rho_{tot})}{t_l [1 + (\alpha - 1) \rho_{tot}]} \\
 &= \frac{(1 - 0,0522)}{1 \cdot 10^{-4} [1 + (314,221 - 1) \times 0,0522]} \\
 &= 545,908 \text{ paket/s} \\
 &= (545,908 \times 42) \times 8 \text{ bps} \\
 &= 183,43 \text{ kbps}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka dapat diperoleh nilai *throughput* untuk panjang paket data 309 byte dan 320 byte. Hasil analisis untuk paket data 309 byte, 320 byte dan 354 byte ditampilkan dalam Tabel 5.17. Sedangkan hubungan *throughput* terhadap faktor utilisasi untuk panjang paket data yang berbeda ditampilkan dalam Gambar 5.11.

Tabel 5.17 Hasil Analisis *Throughput*

F. utilisasi	<i>Throughput</i> Untuk Masing-masing Paket Data (kbps)					
	309 byte		320 byte		354 byte	
	<i>Direct</i>	<i>Indirect</i>	<i>Direct</i>	<i>Indirect</i>	<i>Direct</i>	<i>Indirect</i>
0,1	95,581	161,962	95,578	161,953	108,886	183,424
0,2	95,579	161,958	95,576	161,947	108,883	183,419
0,3	95,575	161,953	95,572	161,942	108,879	183,413
0,4	95,571	161,946	95,568	161,935	108,873	183,404
0,5	95,565	161,936	95,562	161,925	108,865	183,391
0,6	95,556	161,921	95,553	161,910	108,854	183,373
0,7	95,541	161,897	95,538	161,886	108,835	183,342
0,8	95,512	161,849	95,508	161,837	108,796	183,280
0,9	95,422	161,704	95,418	161,691	108,681	183,094

Sumber: Perhitungan

**Gambar 5.11** Hubungan *Throughput* Terhadap Faktor Utilisasi Pada Panjang Paket Data 309 byte, 320 byte, dan 354 byte

Sumber: Perhitungan



Berdasarkan analisis yang dilakukan secara matematis maupun grafis maka dapat dijelaskan bahwa:

- Kenaikan faktor utilisasi akan menyebabkan penurunan nilai *throughput*, namun penurunan yang terjadi cukup kecil sehingga dapat dikatakan bahwa *throughput* relatif konstan untuk semua faktor utilisasi.
- Pada faktor utilisasi yang sama, semakin besar paket data maka nilai *throughput* juga semakin besar.
- Nilai *throughput* untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA yang terjadi pada jalur *indirect link* lebih besar daripada *throughput* pada *direct link*.
- Nilai *throughput* terbesar terjadi pada paket data 354 byte *indirect link* dengan faktor utilisasi 0,1 yaitu 183,424 kbps, sedangkan *throughput* terkecil terjadi pada paket data 320 byte *direct link* dengan faktor utilisasi 0,9 yaitu 95,418 kbps.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan perhitungan tentang penerapan SDMB pada jaringan HSDPA maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. SDMB dapat di i i pada jaringan HSDPA dengan mengintegrasikan jaringan HSDPA dengan satelit GEO.
2. Panjang paket data yang digunakan untuk menganalisis kinerja parameter jaringan berdasarkan penjumlahan *payload* CODEC aplikasi *mobile* TV ditambah *header* dan diperoleh panjang paket data sebesar 309 byte, 320 byte, dan 354 byte.
3. Berdasarkan hasil analisis parameter *delay end-to-end* jaringan untuk paket data 309 byte, 320 byte, dan 354 byte dapat disimpulkan:
 - a) Nilai *delay end-to-end* untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA dipengaruhi oleh panjang paket data aplikasi *mobile* TV. Semakin besar panjang paket aplikasi *mobile* TV yang digunakan maka *delay end-to-end* yang terjadi semakin besar. Dengan mempertimbangkan *delay* CODEC aplikasi *mobile* TV dan *delay* jaringan yang meliputi *delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, dan *delay* antrian serta faktor utilisasi maka diperoleh nilai *delay end-to-end* terbesar adalah pada paket data 354 byte dengan faktor utilisasi 0,9 yaitu $4,418.10^{-1}$ detik. Sedangkan *delay end-to-end* terkecil terjadi pada paket data 309 byte *indirect link* dengan faktor utilisasi 0,1 yaitu $4,104.10^{-1}$ detik.
 - b) *Delay end-to-end* yang terjadi pada jalur *direct link* lebih besar daripada *indirect link* karena adanya perbedaan kecepatan transmisi data pada jalur satelit-UE (*direct*) dan satelit-IMR (*indirect*).
 - c) Hasil analisis *delay end-to-end* penerapan SDMB pada jaringan HSDPA memenuhi standar toleransi *delay* yang direkomendasikan untuk aplikasi *real time* yaitu kurang dari 450 ms.

4. Probabilitas *packet loss* untuk jalur *direct link* lebih besar daripada *indirect link* karena nilai E_b/N_0 pada *direct link* lebih kecil daripada E_b/N_0 *indirect link*. Probabilitas *packet loss* terbesar terjadi pada paket data 354 byte melalui *direct link* yaitu sebesar $9,444 \cdot 10^{-2}$. Sedangkan probabilitas *packet loss* terkecil adalah $5,222 \cdot 10^{-2}$ untuk paket data 309 byte dan 320 byte pada *indirect link*.
5. Nilai *throughput* untuk penerapan SDMB pada jaringan HSDPA relatif konstan terhadap perubahan faktor utilisasi, namun akan semakin meningkat sesuai dengan kenaikan paket data yang ditransmisikan. Besarnya *throughput* pada *indirect link* lebih besar daripada *direct link* karena adanya pengaruh probabilitas *packet loss* dan *delay* yang terjadi. Nilai *throughput* terbesar terjadi pada paket data 354 byte *indirect link* dengan faktor utilisasi 0,1 yaitu 183,424 kbps, sedangkan *throughput* terkecil terjadi pada paket data 320 byte *direct link* dengan faktor utilisasi 0,9 yaitu 95,418 kbps.

6.2 Saran

Saran yang diberikan berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam skripsi ini adalah:

1. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut dengan memperhitungkan mekanisme *handoff* antara *spotbeam* satelit.
2. Perlu pengkajian lebih lanjut tentang interferensi yang dapat terjadi dari *spotbeam* lain.

RIWAYAT HIDUP

Peneliti Utama :

1. a. Nama : Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT..
- b. Golongan/Nip : IV-A/131 124 663
- c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- d. Jabatan Struktural : -
- e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro
- f. Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya Malang
- g. Bidang Keahlian : Telekomunikasi
- h. Riwayat Pendidikan :

Jenjang	Perguruan Tinggi	Lulus Tahun
S1	Teknik Elektro, UGM	1979
S2	Bidang : Telekomunikasi Teknik Elektro, UB Bidang : Telekomunikasi	2007

i. Penelitian Yang Pernah Dilakukan

- Pembuatan Antena pada Frekuensi 145 MHz Untuk Pengembangan Laboratorium, 2003
- Studi Kelayakan Pembangunan Jaringan OnLine System Data, Voice, Video Terpadu Dengan Media Transmisi Gelombang Radio Di Pemkab Situbondo, 2004
- Perencanaan Dan Pembuatan Telemetry Level Anak Sungai Brantas Menggunakan Gelombang Radio 900 Mhz FHSS di Perusahaan Umum Jasa Titra I Malang, 2005
- Perancangan dan Pembuatan Telemetry Level Anak Sungai Brantas Menggunakan Gelombang Radio 900 MHz FHSS di Perusahaan Umum Jasa Tirta I Malang, 2006
- Perencanaan Antena Helik dengan Metode Moment berbasis RWG , 2007

Anggota Peneliti :

1. a. Nama : Dwi Fadila Kurniawan, ST, MT
- b. Golongan/Nip : IIIb / 132 258 185
- c. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
- d. Jabatan Struktural : -
- e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro
- f. Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya Malang
- g. Bidang Keahlian : Telekomunikasi
- h. Riwayat Pendidikan :

Jenjang	Perguruan Tinggi	Lulus Tahun
S1	Teknik Elektro, UB	1997
S2	Bidang : Telekomunikasi Teknik Elektro, ITS Bidang : Telekomunikasi Multimedia	2001

i. Penelitian Yang Pernah Dilakukan

- Studi Perencanaan Radar CW/FM Sebagai Bagian dari Alat Pengurang Kecepatan Sekunder pada Kendaraan Bermotor Roda Empat, 1996
- Prediksi Daya pada Sistem Telekomunikasi DS/CDMA dengan Menggunakan Struktur Jaringan Syaraf yang Optimum, 2001
- Studi Pengukuran Kinerja Antena Pencrima TV UHF, 2002
- Pembuatan Antena pd Frekuensi 145 MHz Untuk Pengembangan Laboratorium, 2003
- Perancangan dan Pembuatan Telemetering Level Anak Sungai Brantas menggunakan Gelombang Radio 900MHz FHSS, 2005
- Aplikasi Kecerdasa Buatan dalam Penentuan Waktu Pengapian CDI yang Optimum, 2006
- Aplikasi Kontrol Adaptif untuk Mengurangi Gangguan Suara, 2007

2. a. Nama : Yosina Septianingsih
 b. Golongan/Nip : -
 c. Jabatan Fungsional : -
 d. Jabatan Struktural : -
 e. Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Elektro
 f. Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya Malang
 g. Bidang Keahlian : Telekomunikasi
 h. Riwayat Pendidikan :

Jenjang	Perguruan Tinggi	Lulus Tahun
S1	Teknik Elektro, UB Bidang : Telekomunikasi	2008

- i. Penelitian Yang Pernah Dilakukan : -

